

# Possibilité d'utilisation de la Carte Numérique des Sols de Wallonie pour l'évaluation de la sensibilité des sols à l'infiltration hydrique verticale



Ce document doit être cité de la manière suivante :

Borgers N., Warin A., Vandenberghe C., Marcoen J.M., 2006 *Possibilité d'utilisation de la Carte Numérique des Sols de Wallonie pour l'évaluation de la sensibilité des sols à l'infiltration hydrique verticale*. Dossier GRENeRA **05-04** 45 p.. In Vandenberghe C., Bontemps P.Y., Hulpiau A., Marcoen J.M., 2006. *Convention-cadre relative au programme de gestion durable de l'azote en agriculture wallonne. Rapport d'activités annuel intermédiaire 2005*. Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux.

## Sommaire

<b>1.</b>	<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>4</b>
<b>2.</b>	<b>EVALUATION DES RISQUES DE LIXIVIATION.....</b>	<b>6</b>
<b>3.</b>	<b>EVALUATION DE LA SENSIBILITE A L'INFILTRATION HYDRIQUE VERTICALE.....</b>	<b>8</b>
<b>4.</b>	<b>ADAPTATION D'UN MODELE D'EVALUATION AU CONTEXTE WALLON.....</b>	<b>10</b>
4.1.	PRINCIPE DE LA CARTE NUMERIQUE DES SOLS DE WALLONIE ET DE SA LEGENDE.....	10
4.2.	POSSIBILITE D'ADAPTATION DES PARAMETRES DU MODELE DE CAM ET AL. (1996) .....	12
	A. Possibilité d'adaptation du paramètre « texture superficielle » .....	12
	B. Possibilité d'adaptation du paramètre « présence d'un plancher » .....	15
	C. Possibilité d'adaptation du paramètre « vitesse de percolation du substrat » .....	18
	D. Possibilité d'adaptation du paramètre « épaisseur du sol » .....	19
	E. Possibilité d'adaptation du paramètre « réserve utile en eau » .....	21
	F. Possibilité d'adaptation du paramètre « perméabilité du profil » .....	22
	G. Informations complémentaires apportées par la CNSW .....	25
	H. En conclusion : possibilité d'adaptation du modèle de Cam et al. ....	27
<b>5.</b>	<b>EXEMPLES D'APPLICATION A L'ECHELLE DE L'EXPLOITATION.....</b>	<b>28</b>
5.1.	EXPLOITATION A .....	29
5.2.	EXPLOITATION B .....	33
5.3.	CONCLUSION .....	40
<b>6.</b>	<b>REMARQUES.....</b>	<b>41</b>
<b>7.</b>	<b>CONCLUSION ET PERSPECTIVES.....</b>	<b>42</b>
<b>8.</b>	<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....</b>	<b>44</b>

## Liste des acronymes

---

<b>CBPA</b>	Code de Bonnes Pratiques Agricoles
<b>CNSW</b>	Carte Numérique des Sols de Wallonie
<b>CSB</b>	Carte des Sols de la Belgique
<b>EG</b>	Elément grossier
<b>ETM</b>	Elément trace métallique
<b>FPT</b>	Fonction de pédotransfert
<b>IHV</b>	Infiltration hydrique verticale
<b>MO</b>	Matière organique
<b>PCNSW</b>	Projet de Cartographie Numérique des Sols de Wallonie
<b>PGDA</b>	Programme de Gestion Durable de l'Azote
<b>RU</b>	Réserve utile en eau
<b>SSA</b>	Survey Surfaces Agricoles

# 1. Introduction

La préservation des patrimoines naturels que sont l'eau et le sol est devenue l'un des enjeux majeurs de ces deux dernières décennies en terme de protection de l'environnement. La directive européenne 91/676/CEE, plus communément appelée directive « Nitrate », vise ainsi à diminuer les concentrations élevées de nitrate dans l'eau, en limitant la pollution due à la production agricole intensive et en réduisant l'utilisation des engrais minéraux et organiques. Elle prévoit des dispositions pour le traitement des eaux usées et la gestion agricole. Le Programme de Gestion Durable de l'Azote (PGDA) en est la transposition en Région wallonne.

Le PGDA s'articule autour de différents axes, dont la désignation de zones vulnérables et l'établissement d'un Code de Bonnes Pratiques Agricoles (CBPA). Ces règles respectueuses de l'environnement, définies par la Région wallonne en 2002, portent notamment sur les quantités, périodes et conditions d'épandage des fertilisants azotés. Celles-ci varient selon la localisation de l'exploitation (au sein d'une zone vulnérable ou en-dehors) et la nature du fertilisant : azote minéral, fertilisants organiques à action lente (fumier de bovins, compost de fumier, etc.) ou à action rapide (lisiers, effluents de volailles, purins, etc.). Egalement réglementé, le stockage des effluents d'élevage doit se faire dans des cuves étanches (pour les lisiers, purins et jus d'écoulement) ou sur des aires bétonnées étanches (pour les fumiers et effluents de volailles). Les effluents d'élevage « secs »<sup>1</sup> peuvent toutefois être stockés en champ moyennant le respect de certaines conditions.

Le CBPA présente un même programme d'action pour l'ensemble de la Région wallonne<sup>2</sup> sans tenir compte de la spécificité des différentes zones agropédologiques. On observe cependant une variabilité importante de faciès du sol inter et intra-zone. La protection des nappes et des cours d'eau face aux apports azotés des effluents d'élevage rend donc nécessaire l'analyse de la sensibilité à l'infiltration de ces différents types de sol. En effet, si l'on ne considère que la composante *verticale* de l'infiltration, on peut affirmer que les risques de contamination<sup>3</sup> des nappes par la lixiviation<sup>4</sup> des éléments dissous présents dans la solution du sol sont plus importants lorsque les sols sont plus sensibles à cette infiltration.

Cette variabilité de faciès de sols se retrouve également au sein des exploitations agricoles, toutes les terres n'étant pas également sensibles à l'infiltration et à la lixiviation consécutive des éléments dissous vers les eaux souterraines. Au sein d'une exploitation agricole, il existe donc des parcelles plus sensibles que d'autres à l'infiltration, c'est-à-dire des parcelles où le risque de lixiviation de l'azote sous forme de nitrate est plus important. Il convient alors d'identifier ces parcelles, afin d'éviter les pratiques agricoles « à risques » telles que le stockage des effluents au champ ou la culture de végétaux laissant à la récolte des reliquats azotés élevés (cultures de classe C3 : maïs, pomme de terre, colza) sur ces zones plus sensibles.

**L'objectif de cette réflexion, qui fait suite à celle de Vandenberghe *et al.* (2004), est de déterminer s'il est possible de créer à l'échelle de l'exploitation agricole une carte de la sensibilité des sols à l'infiltration hydrique verticale (IHV) à partir de la Carte Numérique des Sols de Wallonie (CNSW), à l'instar d'autres auteurs et suivant un modèle adapté d'eux.**

<sup>1</sup> Le taux de matière sèche doit être supérieur à 24% pour un fumier de bovins ou de porcins, et à 54% pour un fumier de volailles ou des fientes de volailles.

<sup>2</sup> Il existe cependant des différences entre les zones vulnérables et le reste du territoire wallon.

<sup>3</sup> Le terme « contamination » désigne l'accroissement notable de la concentration d'un élément suite à des apports anthropiques, sans préjuger de la modification de la qualité du milieu récepteur (eau, sol, air) qui peut en résulter. Le terme « pollution » désigne quant à lui l'accumulation d'un composé en quantité telle qu'il peut induire un danger pour les organismes vivants ou compromettre l'usage qui est habituellement fait du milieu récepteur.

<sup>4</sup> Voir paragraphe 2.

Il s'agit donc d'établir, au sein d'une exploitation, une méthodologie de classement des parcelles sur base de la sensibilité à l'IHV des sols qui les constituent. Les parcelles nécessitant davantage de vigilance en terme de risque d'infiltration pourraient ainsi être identifiées. Soulignons qu'il s'agit d'établir un classement des parcelles en terme *relatif* (la parcelle X présente moins de risque à la lixiviation de l'azote nitrique que la parcelle Y) et non *absolu* (l'application du PGDA sur la parcelle X conduira à un dépassement de la norme de potabilité de l'eau).

Tenant compte des pratiques en cours et des caractéristiques pédologiques de chacune des parcelles, il serait ainsi possible de localiser (à défaut de pouvoir les éviter) certaines pratiques à risque dans les parcelles les moins sensibles à l'échelle de l'exploitation, et donc de mieux conseiller les agriculteurs dans leur démarche de préservation de l'environnement.

Dans un premier temps, deux études portant sur le classement des sols en fonction des risques de lixiviation de l'azote qu'ils présentent sont décrites. Celles-ci, relativement laborieuses à mettre en œuvre, sont délaissées au profit du modèle établi par Cam *et al.* (1996), considérant la sensibilité des sols à l'infiltration hydrique verticale.

Développé à l'origine pour les sols de la Région Centre (France), ce modèle est ici adapté au contexte pédologique wallon, avant d'être exploité pour démonstration à l'échelle de deux exploitations agricoles non monotones d'un point de vue pédologique.

Ce document s'achève par la formulation de différentes remarques quant à la possibilité d'utilisation de la CNSW pour l'évaluation de la sensibilité des sols à l'infiltration hydrique verticale.

## 2. Evaluation des risques de lixiviation

La lixiviation correspond au transfert d'éléments dissouts via les eaux de percolation du sol vers la nappe. La lixiviation de l'azote concerne principalement l'ion  $\text{NO}_3^-$  (nitrate), du fait de sa forte solubilité et de sa faible capacité à être retenu par le complexe argilo-humique, contrairement à l'ion  $\text{NH}_4^+$  (ammonium). L'importance de la lixiviation de l'azote vers les eaux souterraines est à la fois liée aux pressions d'apport exercées par les exploitations agricoles et par les caractéristiques du milieu qui orientent la transformation de l'azote et son transfert.

Le terme lixiviation est à ne pas confondre avec celui de lessivage, souvent entendu, et qui concerne le transfert d'éléments non pas *en solution* mais *en suspension* dans l'eau. On parlera donc bien de lixiviation de l'azote mais de lessivage de l'argile.

Différentes méthodes d'évaluation des risques de lixiviation de l'azote sont décrites dans la littérature. Parmi celles-ci, citons notamment celles de Sebilotte et Meynard (1990) et de Cattin *et al.* (2002).

Sebilotte et Meynard (1990) proposent de classer différentes parcelles d'une exploitation en fonction des risques de pollution azotée qu'elles engendrent sur base de la variabilité interannuelle des rendements agricoles et du risque de lixiviation de l'azote.

La variabilité interannuelle des rendements agricoles permet d'évaluer les risques de reliquats azotés élevés : plus cette variabilité est grande, plus il est difficile de prévoir les besoins en azote, ce qui augmente les risques de reliquats élevés.

Les risques de lixiviation de l'azote dépendent quant à eux du bilan en période d'excédent hydrique et de la profondeur du sol accessible aux racines. Les auteurs distinguent les situations :

- *de toute manière dangereuses* car les ions nitrates sont très rapidement hors de portée des racines (sols très épais et/ou très filtrants présentant des périodes d'excédent hydrique de type  $aP-ETM > 0$ , où  $a$  = coefficient de ruissellement,  $P$  = précipitations,  $ETM$  = évapotranspiration maximale) ;
- *faiblement, voire rarement polluantes*, dès lors que les fertilisations sont conformes aux besoins, car les ions nitrates restent en général dans la zone de colonisation des racines (sols épais, accessibles aux racines, en climat avec un excédent hydrique  $aP-ETM$  peu important) ;
- qui présentent des *risques de pollution irréguliers* selon le climat de l'année en interaction avec les cultures précédentes.

Pour répertorier ces situations, la démarche nécessite de connaître pour chaque parcelle d'une exploitation :

- les profondeurs maximales accessibles aux racines et leur vitesse de colonisation en profondeur ;
- la minéralisation des matières organiques selon les conditions de terrain et de climat (l'état structural du sol et le niveau d'hydromorphie influençant en grande partie cette minéralisation) ;
- la vitesse de percolation, elle-même influencée par l'état structural du sol (taille des pores et des fissures), par la texture de surface et par la nature du substrat sous-jacent.

Dans une logique similaire, Cattin *et al.* (2002) proposent de définir le risque de lixiviation de l'azote en combinant 2 critères : l'indice de drainage et la teneur en matière organique (MO).

L'indice de drainage correspond au rapport entre le volume d'eau drainée et la capacité de stockage en eau du sol ; cette dernière est définie comme le volume d'eau présent au sein du profil de sol à une humidité égale à la capacité au champ.

Le calcul du volume d'eau drainée nécessite la prise en compte de variables relatives aux précipitations, à la végétation, au type de sol mais également à la morphologie de la parcelle qui influence le ruissellement. La capacité de stockage du sol correspond aux propriétés de rétention en eau du sol. Ce facteur pourrait être estimé sur base de fonctions de pédotransfert (FPT) plus ou moins précises et adaptées à un contexte pédologique spécifique.

Le deuxième critère d'évaluation du risque de lessivage correspond au taux de MO de la « couche minéralisante du sol ». Il est donc nécessaire de disposer d'analyses de sols représentatives des parcelles étudiées.

Malgré leur pertinence au niveau parcellaire, ces deux approches d'évaluation nécessitent la connaissance de nombreux paramètres (coefficient de ruissellement, taux de matière organique, profondeurs atteintes par les racines, etc.) ; elles sont donc relativement difficiles à mettre en œuvre.

D'autres démarches moins laborieuses abordent le risque de lixiviation en s'intéressant spécifiquement au sol ; elles ne considèrent que sa sensibilité à l'infiltration hydrique verticale. Ces modèles prennent en compte le « système sol » sans considérer ses interactions avec la végétation, la morphologie du paysage, le climat ou la géologie. L'un d'entre eux, celui de Cam *et al.* (1996) est décrit au paragraphe suivant.

### 3. Evaluation de la sensibilité à l'infiltration hydrique verticale

L'infiltration est définie par Lozet et Mathieu (2002) comme la pénétration de l'eau et des substances qu'elle transporte dans un sol non saturé en surface et son mouvement descendant consécutif dans cette zone non saturée sous l'effet de la gravité et de la capillarité. On distingue ainsi l'*infiltration sensu stricto*, ou quantité d'eau franchissant la surface du sol, et l'*infiltration efficace*, ou quantité d'eau qui parvient à la surface de la nappe.

La notion de *sensibilité à l'infiltration* ne doit pas être confondue avec celle de *capacité d'infiltration* d'un sol. Cette dernière est définie comme une caractéristique du sol déterminant le taux maximum auquel l'eau peut entrer dans le sol sous des conditions précises. Ce taux est exprimé en unités de vitesse :  $\text{cm}^3/\text{cm}^2.\text{s}$ , soit en  $\text{cm/s}$ . La capacité d'infiltration des horizons de surface dépend de l'état de surface du sol, du potentiel de succion du sol et de la hauteur de la nappe d'eau au-dessus du sol (Roose *et al.*, 1993).

De nombreux modèles décrivent l'évolution de la capacité d'infiltration des sols dans le temps ; citons notamment ceux de Horton, de Philip, de Kostiaikov, de Green et Ampt, etc. Ces modèles permettent difficilement de raisonner en terme d'évaluation d'un risque potentiel de pollution de la nappe d'eau souterraine à l'échelle d'une exploitation agricole.

Pour appréhender ce risque, c'est-à-dire évaluer la sensibilité à l'infiltration des sols, l'approche la plus simple consiste à considérer que le phénomène d'IHV est d'autant plus important et rapide que la réserve utile en eau (RU)<sup>5</sup> du sol est faible. Plus la RU sera faible et plus l'écoulement des eaux gravitaires sera rapide. La RU étant fonction de l'épaisseur et de la texture du sol, plus la texture des sols sera grossière et la couverture pédologique mince et plus les risques seront élevés.

La texture conditionne largement l'énergie de rétention de l'eau. Cette énergie de rétention sera d'autant plus grande que les pores sont de petites tailles. La texture du sol joue donc un rôle important dans les propriétés qui déterminent le comportement des sols. Néanmoins, *c'est la structure des sols, c'est à dire l'arrangement des particules à différentes échelles, qui conditionne l'aération du sol, sa conductivité hydraulique ou sa rétention d'eau* (Bigorre, 2000). Par conséquent, l'utilisation de la texture et de la profondeur du sol uniquement ne permet pas d'avoir une approche suffisamment précise du phénomène d'infiltration et du comportement hydrique du sol.

Cam *et al.* (1996) ont alors proposé une approche plus élaborée qui permet de définir des classes de sensibilité à l'IHV en s'appuyant sur six paramètres extraits ou déduits de la carte informatisée des sols de la Région Centre et du département de la Vienne (France), chacun d'eux estimant une composante de l'IHV.

<sup>5</sup> La réserve utile en eau (RU) est la différence entre la capacité de rétention (CR) ou capacité au champ et le point de flétrissement (PF). Elle est exprimée en mm d'eau par cm de sol susceptible d'être exploité par les racines (Lozet et Mathieu, 2002). La RU est donnée par la formule :  $RU = p \cdot da \cdot (CR - PF)$  où  $p$ , profondeur d'enracinement en cm et  $da$ , densité apparente.

La CR correspond à la plus forte humidité du sol pour laquelle les transferts d'eau sont lents après que l'eau excédentaire se soit écoulée par gravité. Cet état est généralement obtenu 1 ou 2 jours après que le sol ait été complètement saturé par l'eau et que le drainage interne ait pu se faire. Le PF correspond à la quantité minimale d'eau que contient le sol au moment où la plupart des plantes commencent à se flétrir.



Obtenus à partir des onze données contenues dans le fichier sémantique de la carte, ces paramètres sont les suivants :

1. la texture superficielle ;
2. la présence (ou l'absence) d'un plancher imperméable ;
3. l'épaisseur du sol ;
4. la réserve utile en eau ;
5. la perméabilité du profil ;
6. la vitesse de percolation du substrat.

Trois de ces paramètres (texture superficielle, présence d'un plancher imperméable et épaisseur du sol) sont directement issus de ce fichier ; un paramètre (réserve utile en eau) est calculé à partir de ces données ; les deux autres (perméabilité du profil et vitesse de percolation) sont interprétés à partir de la connaissance régionale des sols et obtenus par combinaison des données de base.

Une grille de cotation (Tableau 1) est établie pour les différentes unités de sol de la région étudiée, sur base d'une hiérarchisation des 6 paramètres. *Les paramètres extraits de la carte (texture, présence d'un plancher, épaisseur du sol) ou mesurés sur le terrain (réserve utile) ont une plus grande importance que les paramètres estimés (perméabilité du profil et vitesse de percolation du substrat)* (Cam et al., 1996). Les paramètres qui, selon les auteurs, ont une influence plus importante sur l'infiltration ont une cote plus élevée.

**Tableau 1 – Grille de cotation de chaque paramètre de l'IHV proposée par Cam et al. (1996)**

Paramètre	Cote	
Texture superficielle	0 à 20	Paramètres mesurés ou calculés 70% de la note
Présence d'un plancher imperméable	0 à 20	
Epaisseur du sol	0 à 15	
Réserve utile en eau	0 à 15	
Perméabilité du profil	0 à 20	Paramètres estimés 30% de la note
Vitesse de percolation du substrat	0 à 10	
<b>NOTE TOTALE</b>	<b>100</b>	

Les paramètres sont pondérés en fonction de leur incidence sur l'infiltration : plus la cote attribuée est élevée, plus la sensibilité à l'IHV est importante. La somme de ces cotes aboutit à la définition de différentes classes de sensibilité à l'infiltration.

Ces classes sont ensuite utilisées pour la création d'une carte thématique ; chacune d'elles correspond à un cartouche d'une légende couleur dans le fichier géométrique de la carte informatisée. *La sensibilité des sols aux risques de dégradation et de pollution peut donc être représentée, en appréciant l'intensité, les possibilités et la rapidité potentielle de l'IHV* (Cam et al., 1996).

**Cette approche revient donc à évaluer de façon simplifiée les risques de lixiviation des éléments solubles par type de sol (et donc le risque parcellaire de contamination des eaux souterraines), puisque l'eau transporte au travers du sol des éléments susceptibles de revêtir un caractère polluant, comme le nitrate.**

## 4. Adaptation d'un modèle d'évaluation au contexte wallon

Les paramètres retenus par Cam *et al.* (1996) pour évaluer la sensibilité des sols à l'IHV et contenus dans le fichier sémantique de la carte informatisée de leur zone d'étude sont similaires à ceux que l'on retrouve grâce aux sigles de la légende de la Carte des Sols de la Belgique (CSB) et donc de la CNSW.

Il semble donc intéressant, dans le cadre d'une prise en compte croissante des préoccupations d'ordre environnemental, d'adapter ce modèle au contexte wallon.

### 4.1. Principe de la Carte Numérique des Sols de Wallonie et de sa légende

La Carte des Sols de la Belgique, réalisée entre 1947 et 1991, est une carte de nature géomorphopédologique, c'est-à-dire une carte qui exprime étroitement les relations existant entre la roche, le relief et le sol. Les planchettes sont éditées à 1/20.000. Dans le cadre du Projet de Cartographie Numérique des Sols de Wallonie (PCNSW), les planchettes de la partie wallonne de ce document ont été entièrement numérisées. Cette couche spatiale est reliée à une base de données sémantiques qui traduit la légende. Cet ensemble constitue la Carte Numérique des Sols de Wallonie (CNSW).

L'unité cartographique de base de la carte est la **série principale**. Une série regroupe des profils pédologiques ayant en commun un ensemble de caractéristiques morphologiques importantes, comme la nature et la succession des horizons (ou simplement la présence ou l'absence d'un horizon diagnostique), la texture, la couleur, la présence, nature et importance d'une charge caillouteuse, etc.

Une série principale est identifiée par un sigle comprenant 3 à 5 lettres, chacune d'elles traduisant une caractéristique observée du sol. Ce sigle se présente de la manière suivante :

- la première lettre, **une majuscule**, indique la nature de la roche-mère pédologique, ou plus précisément la texture de la partie supérieure du profil, qui correspond conventionnellement aux 50 premiers centimètres pour les sols développés dans des formations meubles ;
- la deuxième lettre, **une minuscule**, définit l'état de drainage naturel, ou plutôt les conditions d'hydromorphie du milieu ;
- la troisième lettre, **une minuscule**, caractérise le type de développement de profil, sur base de la présence ou absence d'un ou plusieurs horizons diagnostiques.

Ce sigle minimal peut être complété, pour apporter des précisions supplémentaires :

- une minuscule avec ou sans parenthèse, ou deux minuscules, ou une majuscule en suffixe indique(nt) des variations secondaires au sein d'une même série principale. Ces variantes ou phases concernent le développement de profil, le matériau parental ou, pour les sols à charge en éléments grossiers (EG) de plus de 15% en volume, la nature de celle-ci ;
- un chiffre en suffixe indique généralement une profondeur ou une épaisseur.

Outre la série principale, on peut identifier des **séries** dites **dérivées** : un substrat, ou roche située sous le sol et pour laquelle aucune relation pédogénétique n'a pu être établie avec lui<sup>6</sup>, est identifié à moins de 125 centimètres de profondeur, limite théorique de profondeur du sol. Ce substrat est indiqué dans la légende de la CNSW par une minuscule précédant la majuscule de texture et/ou par un chiffre placé en quatrième ou cinquième position du sigle de la série principale.

Lorsque la variabilité spatiale des caractéristiques de base du sol (texture, drainage, développement de profil) est trop importante que pour être visualisée à l'échelle 1/20.000, des groupements ont été opérés pour simplifier la lecture des sigles pédologiques. La **série** est alors dite **complexe**. Dans ce cas, les majuscules relatives aux types de texture sont reliées par des tirets, et les minuscules exprimant les classes de drainage naturel ou les types de développement de profil sont remplacées par une majuscule, traduisant le regroupement de symboles simples.

Les sigles des unités cartographiques de la CNSW se présentent donc de la façon suivante :

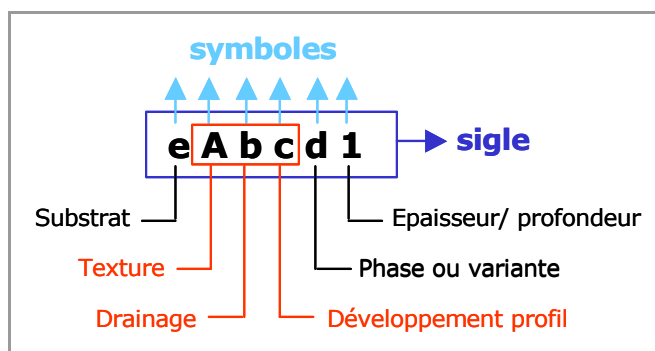


Figure 1 – Définition des symboles des sigles des unités cartographiques

Le tableau synoptique de Bah *et al.* (2005), présenté en annexe 1, illustre l'ensemble des symboles pédologiques repris dans la légende. Plus de 6000 sigles différents sont identifiés sur base de ces symboles.

<sup>6</sup> Le *matériau parental* ou *roche-mère* est à distinguer du *substrat*. Il s'agit d'une roche dure ou meuble dont dérive le sol, directement ou indirectement par l'intermédiaire d'une altérite.

## 4.2. Possibilité d'adaptation des paramètres du modèle de Cam et al. (1996)

### A. Possibilité d'adaptation du paramètre « texture superficielle »

La texture ou composition granulométrique d'un sol est définie d'après la proportion des particules minérales du sol inférieures à 2 mm, classées par catégories de grosseur en différentes fractions. La *terre fine* est donc constituée des (i) argiles (0-2  $\mu\text{m}$ ), (ii) limons fins (2-20  $\mu\text{m}$ ), (iii) limons grossiers (20-50  $\mu\text{m}$ ), (iv) sables fins (50-200  $\mu\text{m}$ ) et (v) sables grossiers (200-2000  $\mu\text{m}$ ). Les constituants minéraux individualisés de dimensions supérieures à 2 mm sont appelés *éléments grossiers* (EG).

L'analyse granulométrique permet de fixer avec précision les pourcentages des divers constituants d'un sol. Il devient alors possible de classer les différentes textures. Les classes texturales sont déterminées d'après un graphique triangulaire représentant la répartition des éléments constituants du sol suivant leurs dimensions. Le triangle textural est ainsi divisé en secteurs qui correspondent à un certain nombre de classes de texture.

Cam *et al.* (1996) proposent une grille de cotation basée sur les classes texturales de la Carte des sols de l'Aisne ; les triangles texturaux de l'Aisne (Figure 2) et de la Région Centre étant similaires.

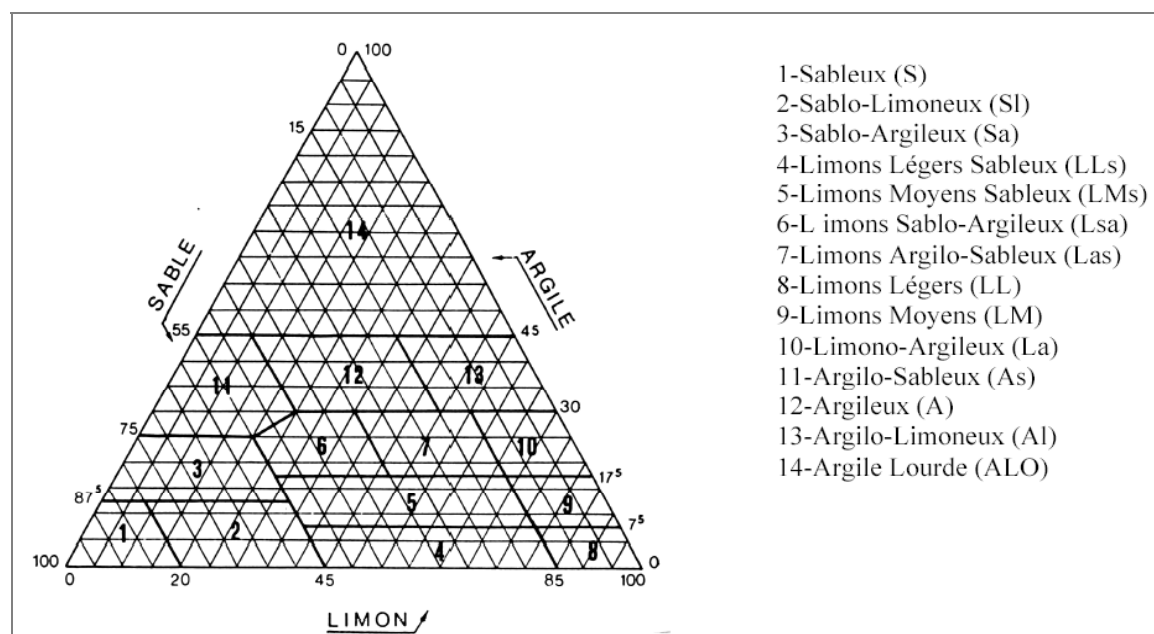


Figure 2 – Triangle textural de l'Aisne (*in* Jamagne, 1967)

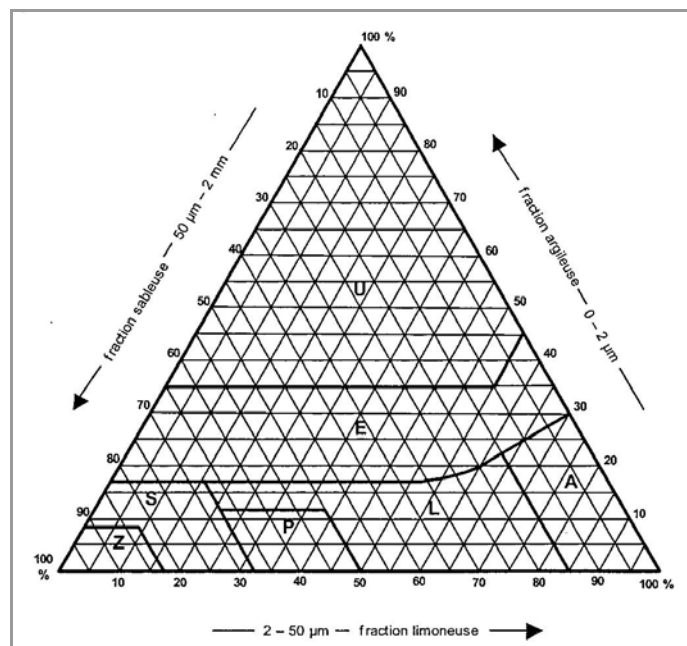
L'échelle de cotation reflétant l'incidence de la texture proposée par Cam *et al.* est présentée au Tableau 2. La notation de ce paramètre s'échelonne de 2 points (infiltration faible) à 20 points (infiltration forte).

Tableau 2 - Incidence de la texture : échelle de cotation proposée par Cam *et al.* (1996)

Texture	Cote
Sable	20
Sable limoneux, limon léger, limon moyen, limon moyen sableux	8 à 20
Limon léger sableux, limon sableux	2 à 10
Sable argileux, argile sableuse, limon sablo-argileux, limon argilo-sableux, limon argileux	10 à 18
Argile, argile limoneuse, argile lourde	5 à 20

Pour choisir la cote exacte qui s'échelonne par exemple de 2 à 10 pour un limon léger sableux ou un limon sableux, Cam *et al.* combinent les paramètres « texture superficielle », « développement du profil », « nature du substrat » et « classe de drainage ». Cette combinaison de facteurs intègre alors le « comportement textural » du sol (Cam *et al.*, 1996). Ainsi, les auteurs suggèrent de réduire la note affectée aux sables limoneux lessivés à drainage imparfait car ils sont plus sensibles à la battance<sup>7</sup>, ce qui réduit leur perméabilité. Par conséquent, la combinaison de ces facteurs permet de mieux prendre en compte le comportement du sol.

Le triangle textural de la CSB diffère de celui de l'Aisne (Figure 3).

Figure 3 – Triangle textural de la Carte des Sols de la Belgique (in Bah *et al.*, 2005)

Comme l'illustrent les figures 2 et 3, la principale différence résulte dans le nombre de classes texturales prises en compte : 7 pour le triangle de la carte belge, 14 pour le triangle de l'Aisne.

De plus, la façon de combiner les différents paramètres entre eux n'étant pas explicitée dans l'article de Cam *et al.* (1996), une autre alternative est choisie dans le cadre de cette étude : une cote est établie pour chaque classe texturale du triangle de la CSB (Tableau 3, page suivante).

<sup>7</sup> La battance est destruction de la structure de la surface du sol sous l'effet de la pluie avec dispersion des colloïdes puis formation, lors du ressuyage et de la dessiccation, d'une croûte superficielle dite *croûte de battance*. Epaisse de quelques mm à un cm, elle est beaucoup plus compacte et dure que le matériau sous-jacent.

Tableau 3 - Adaptation de l'échelle de cotation de Cam *et al.* pour la texture

Classe texturale	Cote
Z Sable	20
S sable limoneux, sable argileux	18
P limon sableux léger	15
L limon sableux	12
A limon léger, limon, limon lourd	10
G limon caillouteux	10
E argile sableuse, argile légère, argile, argile limoneuse	8
U argile lourde, argile lourde sableuse, argile très lourde	2

Les séries de sol dont la première lettre de la série principale est G ou (G) regroupent des sols de texture L, A ou E à teneur en éléments grossiers  $> 5\%$ . Ces sols limono-caillouteux ont reçu une cote médiane de 10. Cependant, il faut préciser que le terme « limon caillouteux » n'est qu'un vocable *car la terre fine n'est pas nécessairement de texture limoneuse ! Suivant la nature de la charge, elle peut être sableuse, limoneuse ou argileuse* (voir par exemple Engels, 2000). Il convient alors, pour les conseillers aux agriculteurs, de retourner sur le terrain pour moduler la cotation de ce paramètre, voire de consulter les analyses granulométriques disponibles (base de données des profils de la CSB connue sous le nom de Aardewerk, travaux de fin d'études, thèses, etc.).

La cotation des complexes de classes de texture nécessite également un retour au terrain.

De plus, dans les zones à texture peu contrastée, il sera sans doute nécessaire de revoir le système d'évaluation de l'incidence texturale. En effet, la plupart des parcelles de la région limoneuse possèdent des sols de classe texturale A. Dès lors, le système de cotation ne permet pas de distinguer des situations différentes sur base de ce paramètre. Pourtant, les nuances du manteau loessique et les variations texturales de ces limons influencent fortement le comportement physique et hydrique de ces sols. La réflexion sur l'influence texturale mériterait donc davantage de prospections. L'utilisation des données du AARDEWERK (Van Orshoven *et al.*, 1993) doit permettre de cibler de manière précise les familles texturales des différents contextes pédologiques de la région.

## B. Possibilité d'adaptation du paramètre « présence d'un plancher »

Cam *et al.* (1996) définissent le plancher comme étant un obstacle physique s'opposant ou ralentissant l'infiltration de l'eau dans son mouvement gravitaire. L'existence d'un tel plancher provoque soit un ralentissement de l'infiltration soit, si la porosité efficace<sup>8</sup> est absente, l'installation d'une nappe temporaire.

Tel que défini, le plancher peut avoir deux origines :

- *pédogénétique* : dans ce cas, il se traduit par la présence dans le profil d'un *horizon* imperméable. Il peut s'agir d'horizons de type B textural (ou horizon Bt : horizon illuvial<sup>9</sup> enrichi en argile) ou de fragipans<sup>10</sup> ;
- *lithologique* : dans ce cas, le plancher se traduit par la présence d'un *substrat* imperméable. Le substrat est défini comme une roche située sous le sol et pour laquelle aucune relation pédogénétique n'a pu être établie avec lui. Il est important de le distinguer du matériau parental ou roche-mère, roche dure ou meuble dont dérive le sol, directement ou indirectement par l'intermédiaire d'une altérite.

*Lorsqu'il est d'origine pédogénétique, le plancher se déduit du développement de profil et de son drainage interne. Lorsqu'il est de nature lithologique, il est caractérisé à partir des données sur la texture, l'altération et la nature du substrat qui permettent de définir sa nature et son degré d'imperméabilité (Cam et al., 1996).*

La cotation liée à la présence d'un plancher proposée par Cam *et al.* s'échelonne de 5 à 20 points, selon la présence ou l'absence du plancher (Tableau 4).

**Tableau 4 - Incidence de la présence éventuelle d'un plancher :  
échelle de cotation proposée par Cam *et al.***

Présence éventuelle d'un plancher		Cote
Plancher	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ substrat induré ou imperméable</li> <li>▪ sol à horizon induré ou imperméable</li> <li>▪ sol x drainage faible à très pauvre x substrat meuble</li> </ul>	5
Plancher discontinu	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ sol x drainage faible à imparfait x substrat meuble</li> </ul>	10
Absence de plancher	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ sol x drainage modéré à favorable x substrat meuble</li> </ul>	20

Pour adapter ce système de cotation à la légende de la CSB, il est donc nécessaire :

- d'identifier les sols possédant un horizon d'illuviation de type Bt ou fragipan ;
- de classer les substrats en fonction de leur perméabilité et de pondérer par la classe de drainage. Ceci s'appuie sur l'hypothèse suivante : plus le substrat est imperméable, plus le drainage est ralenti et les signes d'engorgement présents au sein du profil.

<sup>8</sup> La porosité efficace, ou macroporosité, correspond à la partie du système poral dans laquelle se déroule l'essentiel des transferts.

<sup>9</sup> Un horizon illuvial est un horizon enrichi suite à un apport de matériaux provenant des horizons sus-jacents. Les matériaux accumulés peuvent être de l'argile, du fer, de l'aluminium, de l'humus, des sesquioxydes, des carbonates, des sels solubles ou un mélange de deux ou plusieurs de ces composés.

<sup>10</sup> Le fragipan est un horizon de profondeur de texture moyenne, à densité apparente élevée par rapport aux horizons qui l'entourent. Il est dur et compact lorsqu'il est sec et, à l'état humide, les unités structurales éclatent brusquement lorsqu'on les presse entre les doigts. Sa perméabilité est faible, le drainage est donc imparfait. En Europe occidentale, sa formation semble être liée aux glaciations quaternaires : cet horizon aurait été compacté entre le sous-sol continuellement gelé et la partie superficielle gelée pendant la période froide (Lozet et Mathieu, 2002).



### ➤ Plancher en tant qu'horizon induré ou peu perméable

Les horizons d'illuviation sont renseignés par le développement de profil. La CSB distingue différents types d'horizons Bt (B textural) sur base de critères morphologiques:

- le Bt « classique » (exemple : **Aba**) ;
- le Bt fortement tacheté (exemples : **Aba(b)** ou **Abc**) ;
- le Bt jaune rougeâtre (exemple : **Abd**) ;
- le Bt induré de type fragipan (exemple : **Aba(m)**)

Ces distinctions du Bt permettent difficilement de prévoir le comportement hydrique du sol. Il convient notamment d'être prudent sur l'interprétation des taches claires au sein du Bt : celles-ci ne traduisent pas un engorgement ou un ralentissement du drainage mais correspondent à des glosses, langues verticales à teneur en argile moindre que le reste de la matrice de l'horizon<sup>11</sup>.

Par ailleurs, si les taches d'oxydo-réduction révèlent parfois l'imperméabilité d'un matériau, ces signes d'engorgement peuvent également être liés à la présence d'une nappe souterraine plus ou moins permanente. Dans ce cas, ils ne traduisent pas une sensibilité moins importante du sol à l'infiltration mais la présence d'une zone humide. Cette situation sera abordée en même temps que le paramètre « perméabilité du profil ».

Le comportement hydrique de ces différents horizons Bt étant difficile à appréhender, nous avons choisi d'attribuer une cote unique de 5 pour les sols possédant ce type d'horizon. Dans ce cas, le développement de profil est représenté par les lettres a, c ou d en troisième position du sigle de la série principale. Les sols à développement de profil b, B, x, p ou P présentent également un horizon induré si une variante de développement de profil (m) (fragipan) ou (c) (horizon Bt entre 40 et 80 cm de profondeur) est indiquée en quatrième position du sigle de la série principale. Une cote de 10 est octroyée aux sols qui ne présentent pas ce type d'horizon.

### ➤ Plancher en tant que substrat induré ou peu perméable

Le niveau de perméabilité d'un substrat est difficile à estimer. Dans le cas des roches cohérentes, il dépend du niveau d'altération ou de fissuration de celles-ci. Dans le cas d'un substrat meuble, la présence d'argiles peut également conduire, en période sèche, à des phénomènes marqués de retrait qui influencent fortement la perméabilité du sol.

---

<sup>11</sup> Ceci concerne presque exclusivement la série **Aba(b)** de la Carte des Sols de la Belgique.



Les Tableau 5 et Tableau 6 illustrent les principes de la cotation que nous avons choisie.

**Tableau 5 – Adaptation de l'échelle de cotation de Cam *et al.* (1996) pour la présence d'un plancher peu perméable. (1) Présence d'un horizon particulier.**

Présence éventuelle d'un horizon induré ou peu perméable		Cote
Plancher	▪ sol à horizon induré ou peu perméable (. . a, c ou d ; ..b, B, x, p ou P(m), ..p ou P(c))	5
Absence de plancher	▪ absence d'un tel horizon	10

**Tableau 6 - Adaptation de l'échelle de cotation de Cam *et al.* pour la présence d'un plancher peu perméable. (2) Présence d'un substrat.**

Présence éventuelle d'un substrat	Symbole	Cote	Pondération
Absence de substrat	-	20	-
Substrats sableux, calcaire, gréseux, de grès calcaire, graveleux ou caillouteux, sableux calcarifère, graveleux calcaire, graveleux, de macigno, crayeux, sableux ou crayeux, de calcaire marneux, de travertin, de grès tertiaire	s, k, q, j, g, ks, kt, t, m, n, s-n, i, c, qs	15	De 0 à +5 selon le niveau de perméabilité du substrat déduit de la classe de drainage : .b. et .a. → + 5 .c. → + 3 .d. → + 0  Pour les autres classes de drainage, voir point F.
Substrats limoneux et/ou conglomératique, psammitique, non défini, limono-crayeux, de grès calcaire et de sable et d'argile d'altération	l, p, x, ln, jw	10	
Substrats schisto-gréseux, schisto-calcaire, schisto-psammitique, argilo-sableux, argilo-calcaire, d'argile d'altération (de grès calcaire, de calcaire, de macigno, de craie, de psammite, de calcaire marneux), argilo-caillouteux, argilo-sableux micacé, schisto-gréseux rougeâtre	r, kf, fp, w, K, ju, ku, mu, nu, pu, iu, gu, qw, rb	5	
Substrats argileux, schisteux, d'argilite, d'argile d'altération (de schiste psammitique, de schiste, d'argilite, schisto-calcaire, de roche schisto-gréseuse), schisto-gréseux altéré, fortement altéré	u, f, h, fpu, fu, hu, kfu, ru, ra, a	0	

La perméabilité du plancher est définie sur base de la nature lithologique du substrat selon les critères suivants : les sables sont très drainant ; les calcaires susceptibles d'être fortement fissurés ; les schistes imperméables de par la nature argileuse de leur produit d'altération<sup>12</sup>. Les substrats non définis (indiqués par la lettre x) reçoivent une cote intermédiaire de 10. Les cotes sont ensuite pondérées sur base des classes de drainage définies par la légende de la CSB.

La CSB définit plus de 50 substrats différents. Dans le cas des sols non caillouteux (textures Z, S, P, U, A, E, L), la nature lithologique du substrat est renseignée par une lettre minuscule en préfixe du sigle de la série principale. Dans le cas de sols limono-caillouteux (texture G ou (G)), le substrat est renseigné par une lettre minuscule en préfixe seulement lorsqu'il est de nature lithologique différente de la charge en EG des horizons superficiels. Dans ce cas, il est dit « aberrant ». Lorsque le substrat est au contraire de la même nature lithologique que la charge en EG, il est dit « normal » et seul le symbole se rapportant à la charge en EG est repris dans le sigle pédologique (Bah *et al.*, 2005). Dans tous les cas, la présence d'un substrat à moins de 125 cm de profondeur se marque par un chiffre en suffixe du sigle cartographique (voir tableau 9).

<sup>12</sup> La perméabilité des schistes est donc éminemment variable suivant le degré d'altération.

Les cotations des différents substrats restent discutables au cas par cas. Pour une zone d'étude déterminée, la lecture des livrets explicatifs des planchettes de la CSB semble nécessaire, car ceux-ci permettent d'obtenir davantage d'information sur la nature exacte et le comportement hydrique de ces différents substrats. Pour établir les cotations, les conseillers aux agriculteurs devraient donc se référer à ces documents de base qui traduisent de manière plus précise les observations du cartographe.

### **C. Possibilité d'adaptation du paramètre « vitesse de percolation du substrat »**

Dans l'approche de Cam *et al.*, ce paramètre évalue *la capacité de la roche sous-jacente à accueillir ou à évacuer l'eau d'infiltration ayant atteint la base du solum*. La notion de roche sous-jacente employée par ces auteurs peut renvoyer à la notion de roche-mère pédologique ou géologique (ou roche dont dérive le sol) ou à celle de substrat (ou roche située sous le sol et pour laquelle aucune relation pédogénétique n'a pu être établie avec lui).

La grille de cotation (Tableau 7) proposée par Cam *et al.* s'échelonne de 2 points (vitesse lente) à 10 points (vitesse rapide).

**Tableau 7 – Incidence de la vitesse de percolation de la roche sous-jacente : échelle de cotation proposée par Cam *et al.***

Vitesse	Nature de la roche sous-jacente	Cote
rapide	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ dure, très fissurée ou fracturée</li> <li>▪ meuble, très filtrante</li> </ul>	10
moyenne	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ autre que celles des classes 1 et 3</li> </ul>	5
lente	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ dure, peu fissurée ou fracturée</li> <li>▪ meuble, peu filtrante</li> </ul>	2

Ce système de cotation prévoit donc de connaître la nature lithologique et la perméabilité de la roche sous-jacente (roche-mère ou substrat). A défaut d'explications complémentaires de la part des auteurs, le paramètre « vitesse de percolation de la roche sous-jacente » nous semble identique au paramètre « présence d'un plancher » lorsque l'on considère le substrat, puisqu'il est coté selon les mêmes critères. Il n'en est pas ainsi lorsque l'on considère la roche-mère, puisque celle-ci n'a pas encore été prise en compte par le paramètre « présence d'un plancher ».

Malheureusement, les sigles de la CSB n'apportent pas de renseignements systématiques sur la nature lithologique de la roche-mère. En effet, le sigle n'est représentatif que des 125 premiers centimètres du sol. La nature des roches sous-jacentes n'est connue que si la roche apparaît avant cette profondeur, et s'il s'agit d'un substrat. Dès lors, un sol limoneux profond de type Aba peut correspondre à une épaisse couche de limon loessique de plusieurs mètres d'épaisseur ou à une couche à peine plus épaisse que 1,20 m située sur un calcaire fissuré. Ces 2 situations ne peuvent pas être différenciées lorsque l'on se réfère uniquement à la légende de la CSB. Pour cela, il faudrait se servir de cartes géologiques et, avant tout, connaître la nature des terrains superficiels.

Cette notion de vitesse de percolation de la roche-mère est donc difficilement appréciable au départ de la seule CSB (ou CNSW qui en dérive), et ne sera par conséquent pas intégrée au système de cotation.

### D. Possibilité d'adaptation du paramètre « épaisseur du sol »

La notion d'épaisseur du sol détermine le volume traversé par l'eau, ce qui conditionne le temps de transfert de l'eau jusqu'au sous-sol et la réserve utile en eau du sol.

La cotation proposée par Cam *et al.* s'échelonne de 0 (sol très épais) à 15 points (sol superficiel) (Tableau 8).

**Tableau 8 - Incidence de l'épaisseur du sol : échelle de cotation proposée par Cam *et al.***

<b>Epaisseur</b>	> 120 cm	80 < < 120 cm	40 < < 80 cm	< 40 cm
<b>Cote</b>	0	5	10	15

En Région wallonne, l'épaisseur du sol peut être directement déduite de la légende de la CNSW. En effet, la présence (ou l'absence) de chiffres en suffixe du sigle de la série principale donne des informations quant à la profondeur d'apparition du substrat, et donc indirectement sur la profondeur du sol. Pour les sols limono-caillouteux (texture G), ces chiffres donnent également la fraction estimée de la charge en EG.

Il faut être attentif à ne pas confondre ces chiffres avec ceux indiquant une variante du développement de profil. Prenons l'exemple des sigles Abp0 ou Aca1 ; le chiffre en suffixe n'indique pas une profondeur d'apparition du substrat, mais bien une variante de développement de profil (..p0 : colluvions ou alluvions de plus de 125 cm de profondeur, ..a1 : horizon A mince, de moins de 40 cm d'épaisseur). Pour que le chiffre placé en suffixe renseigne bien une épaisseur de sol (ou profondeur d'apparition d'un substrat), il faut que la nature lithologique du substrat soit renseignée en préfixe pour les sols non caillouteux ou caillouteux (texture G ou (G)) à substrat aberrant, ou en quatrième ou cinquième position du sigle de la série principale pour les sols caillouteux à substrat normal.

Pour déduire l'épaisseur du sol à partir du sigle pédologique, il faut donc extraire et croiser les symboles relatifs à la texture (lettre majuscule du sigle de la série principale) et à la présence ou non d'un substrat identifié à moins de 125 cm de profondeur, limite maximale possible de la profondeur du sondage lors de la cartographie des sols de la Belgique.

Le tableau 9 (page suivante) illustre comment déduire la profondeur du sol à partir du sigle de chaque unité cartographique.

Tableau 9 – Déduction de l'épaisseur du sol en fonction du sigle de la CNSW et adaptation de l'échelle de cotation de Cam *et al.*

Epaisseur	Cote	Teneur en éléments grossiers			
		<i>A, L, E, S, P, Z et U</i>		<i>G</i>	
		0-5 %	5-15%	15-50%	>50%
>125 cm	0	Aba	Gbbf	Gbbf	-
80-125 cm	5	(f)Aba	Gbb1 ou <i>fGbb1</i>	Gbbf1	-
40-80 cm	10	fAba2	Gbb2 ou <i>fGbb2</i> <sup>11</sup>	Gbbf2 <sup>13</sup>	Gbbf3
20-40 cm	15	fAba3	Gbb4 ou <i>fGbb4</i>	Gbbf4	Gbbf5
<20 cm	20	-	-	Gbbf6	Gbbf6

Note : substrat normal, *substrat aberrant*, **substrat** et **profondeur**

Dans le cas de sols non caillouteux (textures A, L, E, S, P, Z et U) et limoneux peu caillouteux (texture G et teneur en EG < 15%), aucun substrat n'est rencontré à moins de 20 cm de profondeur (Bah *et al.*, 2005).

Le système de cotation proposé par Cam *et al.* n'est pour ainsi dire pas modifié puisque les classes d'épaisseur définies par ces auteurs sont quasiment les même que celles que l'on peut déduire à partir de la légende de la CSB.

<sup>13</sup> Le chiffre 7 remplace le chiffre 2 lorsque la charge en EG est très fortement altérée.

### E. Possibilité d'adaptation du paramètre « réserve utile en eau »

La réserve utile en eau (RU) est la différence entre la capacité de rétention (CR) ou capacité au champ et le point de flétrissement (PF). Elle est exprimée en mm d'eau par cm de sol susceptible d'être exploité par les racines. *La RU désigne le réservoir du sol et son rôle tampon vis-à-vis de l'infiltration de l'eau* (Cam et al., 1996).

Pour ce paramètre, la cote attribuée par Cam et al. varie de 3 points (RU forte) à 15 points (RU faible) (Tableau 10).

Tableau 10 – Incidence de la RU : échelle de cotation proposée par Cam et al.

Réserve utile	$x > 150$ mm	$100 < x < 150$ mm	$50 < x < 100$ mm	$< 50$ mm
Cote	3	7	11	15

Cette notion de RU ne peut être extraite de la CNSW qu'à travers des fonctions de pédotransfert (FTP). Les FTP ont généralement un fort caractère régional et montrent leurs limites lorsqu'elles sont employées hors de leurs zones d'origine. C'est en effet *avec les FPT établies à partir de sols de caractéristiques proches de celles des sols étudiés que les estimations sont le moins biaisées et les plus précises* (Morvan et al., 2004). Ne possédant pas de FTPs calibrées et validées pour les différentes régions agropédologiques de la Région wallonne, le critère RU ne peut pas être pris en compte.

Cependant, on pourrait avoir une idée approximative de la RU au travers de l'information concernant la texture et l'épaisseur de sol. En effet, la RU est donnée par la formule :

$$RU = p \cdot da \cdot (CR - PF)$$

où  $p$ , profondeur d'enracinement en cm et  $da$ , densité apparente.

La capacité de rétention correspond à la plus forte humidité du sol pour laquelle les transferts d'eau sont lents après que l'eau excédentaire se soit écoulée par gravité. Cet état est généralement obtenu 1 ou 2 jours après que le sol ait été complètement saturé par l'eau et que le drainage interne ait pu se faire. La succion à laquelle est soumise cette eau dépend essentiellement de la texture du sol ; elle varie de pF 2 (ou 0,1 bar) pour les sables à pF 3 (ou 1 bar) pour les argiles.

Le point de flétrissement correspond à la quantité minimale d'eau que contient le sol au moment où la plupart des plantes commencent à se flétrir ; il s'agit de la teneur en eau à pF 4,2.

Pour l'obtention de ce paramètre, une campagne d'essai devrait être menée sur le terrain. Cependant, pour éviter la redondance des paramètres texture et épaisseur de sol déjà pris en considération, il ne semble pas utile de le faire.

## F. Possibilité d'adaptation du paramètre « perméabilité du profil »

La perméabilité ou conductivité hydraulique du profil est l'aptitude du sol à se laisser traverser par l'eau mise en mouvement sous l'effet d'un gradient hydraulique ; elle exprime la résistance du milieu à l'écoulement de l'eau qui le traverse. La perméabilité du profil correspond donc *au transit de l'eau au sein du sol avec une vitesse de transfert plus ou moins rapide* (Cam *et al.*, 1996).

Le coefficient de perméabilité K traduit cette aptitude à conduire l'eau ; il a les dimensions d'une vitesse et s'exprime en cm/s, en m/jour ou en mm/s. Ce coefficient est principalement déterminé par la distribution des pores dans le sol et à leur interconnectivité, donc par la structure du sol, liée à plusieurs autres propriétés du sol dont la texture. La température intervient également car elle a une influence non négligeable sur la viscosité des fluides qui circulent en milieu poreux. Généralement, le coefficient de perméabilité est exprimé pour une température de 20°C.

La perméabilité peut être appréhendée par deux approches. La première consiste à mesurer le coefficient de perméabilité des profils par une mesure sur le terrain (méthode Porchet ou méthode par pompage d'essai), la seconde est basée sur le comportement hydrique des sols *dont la sensibilité à l'excès d'eau traduit le plus souvent un défaut d'infiltration, en l'absence d'une nappe permanente* (Cam *et al.*, 1996).

La perméabilité est estimée indirectement par Cam *et al.* sur base du croisement de différents critères issus du fichier sémantique de la carte informatisée : développement de profil, substrat et classe de drainage. Remarquons qu'il s'agit donc des mêmes critères que ceux utilisés pour l'évaluation du paramètre « présence d'un plancher imperméable ». Ces auteurs proposent une échelle de cotation qui varie de 1 point (sol non perméable) à 20 points (sol perméable) (Tableau 11).

**Tableau 11 – Incidence de la perméabilité : échelle de cotation proposée par Cam *et al.* (1996)**

Perméabilité du profil	<i>non perméable</i>	<i>peu perméable</i>	<i>assez perméable</i>	<i>perméable</i>
Cote	1	6	12	20

Selon Cam *et al.*, la présence de signes d'engorgement et l'absence d'une nappe souterraine traduisent le plus souvent un défaut d'infiltration lié à une perméabilité insuffisante.

Pour rappel, la deuxième lettre du sigle de la série principale de la CNSW définit l'état de « drainage naturel », en présentant les conditions d'hydromorphie du milieu. Il n'est cependant pas aisé d'établir une relation entre les classes de drainage de la CNSW et la perméabilité du sol. En effet, la répartition des sols dans l'une ou l'autre de ces classes est basée sur des critères morphologiques, comme la présence ou l'absence de taches d'oxydo-réduction, qui ne permettent pas de préjuger de la nature de l'engorgement. Celui-ci peut en effet être lié à la présence et aux fluctuations d'une nappe souterraine, à la position topographique du sol considéré ou au ralentissement du drainage suite à une faible perméabilité du profil ou à la présence d'un plancher tel que défini supra. En l'absence de mesures ou d'une bonne connaissance du contexte pédologique, il n'est donc pas possible de déduire la perméabilité du profil uniquement sur base des sigles de la légende de la CSB.

Cependant, on peut considérer que le facteur texture pris en compte influence grandement les paramètres RU et perméabilité. Il semble alors redondant de considérer le paramètre « perméabilité » si l'on considère déjà le paramètre « texture ».

### ➤ *Note sur les sols à engorgement permanent*

Dans le cadre d'une réflexion sur le nitrate, les sols à engorgement permanent constituent un cas particulier. Ces sols présentent au sein du profil pédologique des horizons réduits qui témoignent de conditions d'anoxie propices à la dénitrification hétérotrophe. Celle-ci correspond à la transformation de l'azote nitrique en azote gazeux ( $N_2$ )<sup>14</sup> par de nombreuses espèces bactériennes ; elle peut également conduire à la production de protoxyde d'azote ( $N_2O$ ), gaz fortement impliqué dans l'accroissement de l'effet de serre (Mariotti, 1996). La dénitrification est dite hétérotrophe car les bactéries actrices puisent leur énergie dans la matière organique du sol ( $CH_2O$ ).

Les conditions optimales pour la dénitrification hétérotrophe sont généralement réunies dans les sols hydromorphes de fond de versant, où l'anoxie est induite par un engorgement permanent ou temporaire (Martin, 2003). Dans ces zones, Durand *et al.* (1998) ont montré que les conditions sont optimales pour la dénitrification dans les horizons superficiels des sols.

Les sols hydromorphes pourraient dès lors être considérés comme très peu sensibles aux risques de lixiviation du nitrate. Cependant, comme *la dénitrification peut potentiellement jouer un rôle de transfert de pollution des sols ou des nappes vers l'atmosphère* (Mariotti, 1996), nous prenons le parti de classer les sols hydromorphes dans la catégorie des sols peu favorables aux épandages. En effet, la dénitrification varie en fonction des conditions d'engorgement et des paramètres pédoclimatiques. Il donc est difficile, en conditions agronomiques, de maîtriser ces transformations et de gérer de manière raisonnée les apports d'amendements organiques.

---

<sup>14</sup> La chaîne des réactions de réduction depuis le nitrate jusqu'à l'azote moléculaire est la suivante :  $NO_3^- \rightarrow NO_2^- \rightarrow NO \rightarrow N_2O \rightarrow N_2$ . Ce processus est la dénitrification.

Le tableau 12 indique les principales classes de drainage et les critères morphologiques déterminant ce classement. Les signes d'engorgement se marquant de manière moindre dans les sols sableux que dans les sols argileux ou limoneux, les classes de drainages sont définies sur base de la texture.

Tableau 12 – Classes de drainage en fonction de la texture (*in Bah et al., 2005*)

Classe de drainage	Profondeur d'apparition (en cm) des phénomènes d'oxydo-réduction		Profondeur d'apparition (en cm) des phénomènes de réduction	
	<i>A, L, E, U, G</i>	<i>Z, S, P</i>	<i>A, L, E, U, G</i>	<i>Z, S, P</i>
<b>a</b> drainage excessif				
<b>b</b> drainage favorable	> 125	90 - 125		
<b>c</b> drainage modéré	80 – 125	60 – 90		
<b>d</b> drainage imparfait	50 – 80	40 – 60		
<b>h</b> drainage assez pauvre sans horizon réduit	30 – 50	20 – 40		
<b>i</b> drainage pauvre sans horizon réduit	0 – 30	0 – 20		
<b>e</b> drainage assez pauvre à horizon réduit	30 – 50	20 – 40	> 80	> 80
<b>f</b> drainage pauvre à horizon réduit	0 – 30	0 – 20	40 – 80	> 80
<b>g</b> drainage très pauvre	-	-	< 40	< 40

Dans cette approche, les sols présentant les classes de drainage h, i, e, f ou g pour les 2 catégories de texture sont estimés comme hydromorphes. Pour les séries complexes, il s'agit des sols présentant les classes de drainage I (h+i), F (e+f) ou G (e+f+g). Ces sols sont considérés comme inaptes pour le stockage du fumier au champ, et les cultures présentant les plus de reliquats azotés ne seront préférentiellement pas conduites sur des parcelles présentant ce type de sol. Il en est de même pour les sols de sigle spécial B (zone de source).

Les sols de texture Z, S ou P présentant un drainage excessif (. a .) sont considérés comme très filtrants ; ils reçoivent automatiquement une cote de 20 pour l'influence texturale.



### G. Informations complémentaires apportées par la CNSW

En plus des paramètres décrits ci-dessus et utilisés pour la transposition du modèle de Cam *et al.* au contexte wallon, la CSB apporte des renseignements sur certaines unités de paysage ou sur certaines phases<sup>15</sup> importantes à prendre en considération dans le cadre de l'estimation de la sensibilité des sols à l'IHV.

Il s'agit notamment de la topographie. En effet, si l'on considère le devenir des précipitations à la surface du sol, on peut le schématiser comme suit :

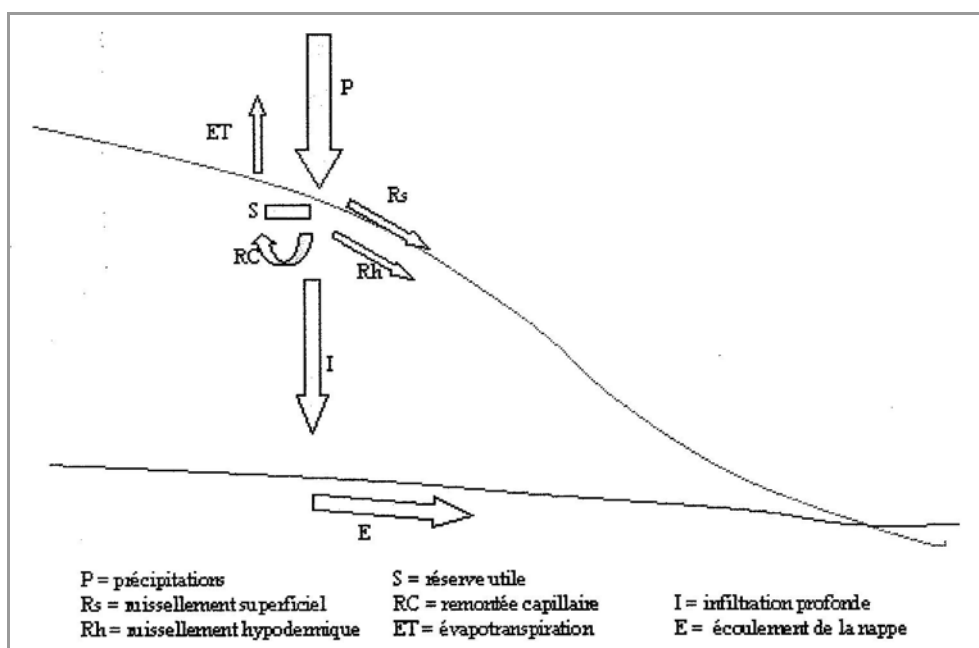


Figure 4 – Devenir des précipitations à la surface du sol (*in* Engels, 2000)

Selon la problématique envisagée, il s'agit de déterminer l'intensité et le sens de chacun des flux (Engels, 2000). Dans le cas de l'évaluation de la sensibilité des sols à l'IHV selon l'adaptation du modèle de Cam *et al.* (1996), on ne considère qu'une seule arrivée d'eau (les précipitations), et une seule sortie (l'infiltration profonde). Ce modèle, qui ne replace pas le profil dans son contexte topographique, n'intègre donc pas la totalité du cycle de l'eau car il néglige notamment les arrivées d'eau externes, les remontées capillaires et les circulations latérales. Ce modèle ne tient pas compte du fonctionnement hydrique global des sols au sein des pédopaysages ; il est en quelque sorte bidimensionnel.

Cependant, la prise en compte de la topographie peut avoir des conséquences sur l'utilisation préconisée des parcelles. En effet, si une parcelle jugée peu sensible à l'IHV est située sur une pente forte en amont d'une parcelle très sensible, les risques de ruissellement deviennent importants, et les éléments en solution vont pouvoir atteindre la parcelle sensible située en contrebas (figure 5, page suivante). Dans ce cas, les pratiques à risques comme le stockage du fumier au champ seront également à éviter sur la première parcelle, même si celle-ci est considérée comme peu sensible d'un point de vue bidimensionnel.

<sup>15</sup> Une phase est une subdivision d'une série sur base de caractéristiques comme la profondeur de sol, la nature de la charge d'éléments grossiers en surface, la forme du relief, ..., importantes du point de vue de la différenciation du profil et de l'utilisation (Bah *et al.*, 2005).

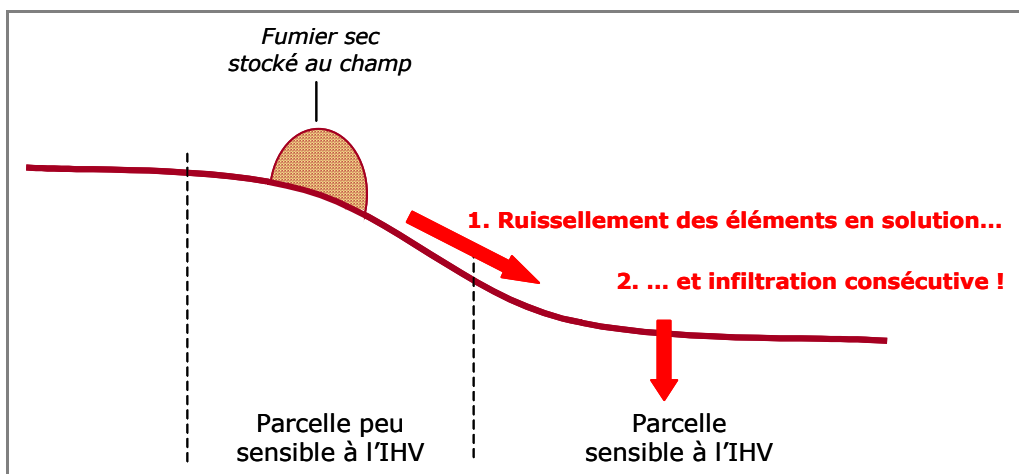


Figure 5 – Influence de la topographie sur la répartition des pratiques à risques

La topographie n'est pas directement renseignée par la CNSW. Cependant, pour la caractérisation du relief au sein duquel se sont développés les sols, plusieurs *phases* sont rencontrées. Elles sont indiquées par les lettres suivantes :

- **P** : complexe des pentes fortes, complexe de profondeur variable sur fortes pentes, phase de profondeur variable sur fortes pentes, sols sur pentes faibles à fortes
- **T** : phase de profondeur variable sur fortes pentes concaves ou de pentes en gradins
- **U** : phase de profondeur variable sur fortes pentes convexes

Certaines unités de paysage apportant une information sur le relief sont également indiquées par un *sigle spécial*. Il s'agit notamment des terrains non différenciés :

- **G-I** : complexe de sols limono-caillouteux et caillouteux sur pente forte
- **H** : complexe de sols sur pentes fortes
- **J-H** : complexe de sols sur fortes pentes et d'affleurements rocheux

Les « pentes fortes » sont de l'ordre de 10 % ou plus.

La CSB apporte également quelques informations quant à la présence de phénomènes karstiques<sup>16</sup> tels que des dolines<sup>17</sup> (sigle spécial **D**) ou mardelles<sup>18</sup> (sigle spécial **Ma**). Il convient également d'éviter les pratiques à risques sur des parcelles présentant ces phénomènes, car l'eau infiltrée peut percoler rapidement à travers des chenaux préférentiels, et contaminer ainsi la nappe sous-jacente.

<sup>16</sup> Il faut cependant signaler qu'il s'agit d'une information historique, ces phénomènes étant éminemment dynamiques.

<sup>17</sup> Une doline est une dépression fermée, rencontrée en région calcaire karstique. L'eau de pluie a dissous le  $\text{CaCO}_3$  et a ainsi formé des crevasses. Le sol s'affaisse et forme une cuvette.

<sup>18</sup> Une mardelle est une petite dépression fermée rencontrée en région crayeuse ou marneuse. L'eau de pluie a dissous le  $\text{CaCO}_3$  créant un affaiblissement en forme de cuvette. Il s'agit donc d'un phénomène semblable à celui des dolines sur calcaire.

## H. En conclusion : possibilité d'adaptation du modèle de Cam et al.

Le modèle de Cam *et al.* (1996) est transposable au contexte wallon car la plupart des paramètres, définis par ces auteurs comme les composantes de l'IHV, sont renseignés dans la légende de la CSB pour chaque unité cartographique.

Quatre paramètres ont ainsi été retenus pour estimer l'IHV à l'aide de la CNSW. Il s'agit de (i) la texture de l'ensemble du profil, (ii) de la présence (ou absence) d'un horizon induré ou imperméable, (iii) de la présence (ou absence) d'un substrat induré ou imperméable et (iv) de l'épaisseur du sol. Un paramètre (classe de drainage) peut être à caractère exclusif lorsqu'il concerne les sols considérés comme hydromorphes ; il est également utilisé pour la cotation des substrats.

Par rapport au modèle de Cam *et al.*, des modifications (notamment d'échelles de cotation) ont été apportées à ces quatre paramètres afin de mieux prendre en compte l'information présentée par la CNSW. Le paramètre *vitesse de percolation de la roche* du modèle originel ne pourrait être accessible que via la consultation de documents cartographiques concernant la géologie et la connaissance des terrains superficiels. Les paramètres *RU* et *perméabilité du profil* doivent quant à eux être évalués sur base de mesures ou de FPT calibrées en fonction des différents contextes pédologiques régionaux, car ils ne sont pas renseignés par la CNSW. Ces fonctions et mesures n'étant pas disponibles, il n'a pas été possible d'intégrer ces valeurs à notre modèle. Cependant, puisque l'on considère la texture de l'ensemble du profil, et que la RU et la perméabilité sont grandement influencées par la texture, cela ne pose a priori pas de problèmes car la considération de ces deux paramètres aurait un effet redondant.

De plus, par rapport au modèle proposé par Cam *et al.*, des informations supplémentaires et jugées utiles dans le cadre de ce rapport ont été considérées. En effet, la CNSW renseigne des unités de paysages et des phases importantes à prendre en considération lorsque l'on s'intéresse à l'évaluation de la sensibilité des sols à l'infiltration. Il s'agit notamment d'informations concernant la présence de fortes pentes ou d'éléments particuliers tels que des dolines ou des mardelles.

Le Tableau 13 récapitule le poids des paramètres pris en compte dans notre approche et dans celle de Cam *et al.* pour cartographier la sensibilité des sols à l'IHV.

**Tableau 13 – Récapitulatif : échelle de valeur des différents paramètres pris en compte**

Critères d'évaluation	proposés par Cam <i>et al.</i>	adaptés à cette étude
Influence texturale	0 à 20	0 à 20
Présence d'un plancher peu perméable ≈ présence d'un horizon induré ou peu perméable et/ou d'un substrat induré ou peu perméable	0 à 20	5 ou 10 5 à 20
Epaisseur du sol	0 à 15	0 à 15
Réserve utile en eau	0 à 15	×
Perméabilité du profil ≈ classe de drainage	0 à 20	(×)
Vitesse de percolation de la roche	0 à 10	×

× : non pris en compte    (×) : non pris en compte tel quel    ≈ : paramètre redéfini pour notre étude

## 5. Exemples d'application à l'échelle de l'exploitation

Le paragraphe suivant illustre les résultats obtenus par l'application de la méthode dans 2 exploitations agricoles de la Région wallonne, choisies pour leurs contrastes pédologiques marqués. Celles-ci sont suivies par GRENeRA dans le cadre du Survey Surfaces Agricoles (SSA).

Les Tableau 14 et Tableau 16 des pages suivantes détaillent les résultats obtenus par le système de cotation pour l'ensemble des unités de sols présentes sur les parcelles des exploitations A et B. Les sigles correspondant aux sols hydromorphes sont notés SH, et ceux correspondant aux zones non cartographiées ou aux zones urbanisées sont notés NC.






A partir de ces résultats, une classification des parcelles de l'exploitation peut être établie. Les classes de sensibilité définies sont des classes relatives ; leurs bornes inférieure et supérieure sont déterminées sur base de l'ensemble des résultats obtenus pour chaque type de sol présent au sein de l'exploitation agricole. Les échelles de cotation sont donc adaptées en fonction des spécificités du milieu étudié.

Pour les deux exploitations, les cotes de sensibilité à l'IHV attribuées aux sols varient de 28 à 55. Sur base de ces résultats, trois classes de sensibilité ont été définies comme suit :

- sols peu sensibles : de 26 à 35 points,
- sols moyennement sensibles : de 36 à 45 points,
- sols plus sensibles : de 46 à 55 points.

Une quatrième classe indique les sols hydromorphes, sur lesquels il est conseillé d'éviter les pratiques à risques. Dans ce cas-ci, on ne rencontre pas de sols à pentes fortes ou de sols développés sur doline ou mardelle. Une dernière classe regroupe les sols pour lesquels l'information cartographique est manquante ; il s'agit des sols artificiels, représentés par une lettre O suivie d'une seconde majuscule précisant la nature de l'intervention humaine, et des zones non cartographiées représentées par les lettres NC.

Chacune de ces classes est représentée par un code couleur :

Couleur	Classe
	Sols moins sensibles
	Sols sensibles
	Sols plus sensibles
	Sols hydromorphes
	Manque d'information

## 5.1. Exploitation A

La première exploitation (exploitation A) se situe en Famenne. La Figure 6 situe le parcellaire de cette exploitation.

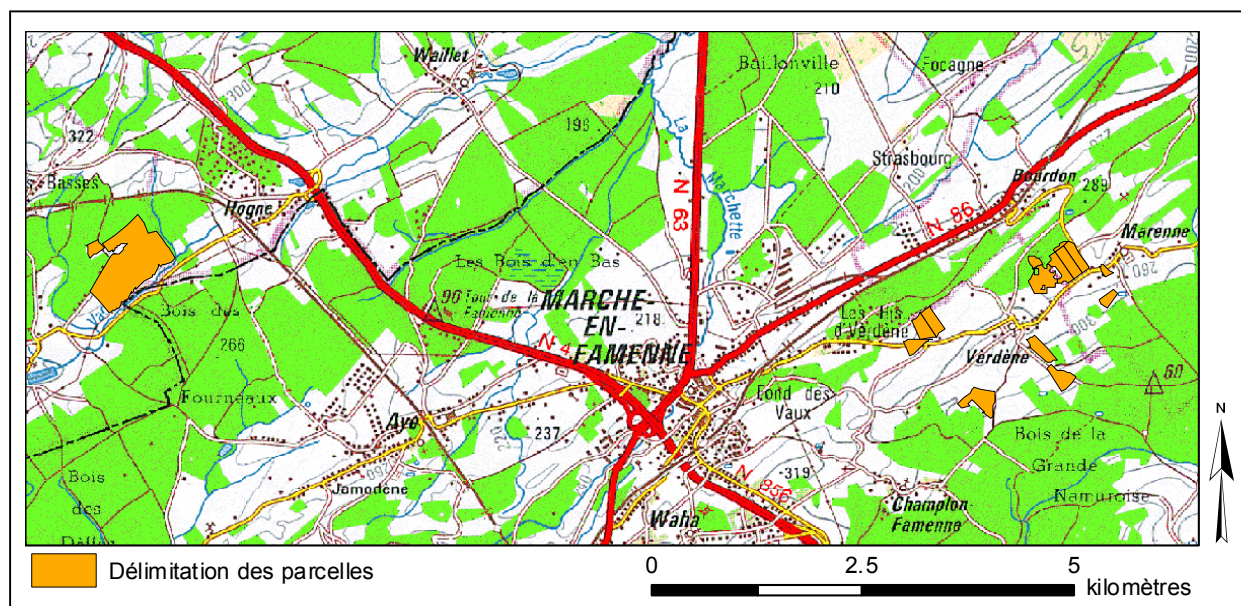


Figure 6 – Parcellaire de l'exploitation A

Tableau 14 – Cotations obtenues pour l'ensemble des unités de sol  
présentes sur les parcelles de l'exploitation A

	Sigle cartographique	Cas particulier	Texture	Substrat	Horizon	Epaisseur	Somme
Famenne	uGdbf2	-	10	0	10	10	30
	uGdbr2	-	10	0	10	10	30
	Gbbf0_1	-	10	5	10	5	30
	Gdbp0_1	-	10	10	10	5	35
	rGdb2	-	10	5	10	10	35
	Gdbf2	-	10	0	10	10	30
	Gcbf2	-	10	3	10	10	33
	Gbbf2	-	10	5	10	10	35
	Gdbr2	-	10	5	10	10	35
	Gdafp2	-	10	10	5	10	35
	uGbbkf2	-	10	5	10	10	35
	GDbf2	-	10	3	10	10	33
	(x)Aba	-	10	15	5	5	35
	kfAba2	-	10	10	5	10	35
	Gbakf2	-	10	10	5	10	35
	kuAba2	-	10	10	5	10	35
	kuGba2	-	10	10	5	10	35
	Abp (c)	-	10	20	10	0	40
	Abp	-	10	20	10	0	40
	Acp	-	10	20	10	0	40
	Gbp	-	10	20	10	0	40
	Gcp	-	10	20	10	0	40
	Gdp	-	10	20	10	0	40
	Gdb0_1	-	10	20	10	5	45
	Gcbfp2	-	10	13	10	10	43
	Gbbfp2	-	10	15	10	10	45
	Gcbr2	-	10	8	10	10	38
	Gbbr2	-	10	10	10	10	40
	Gbbf4	-	10	5	10	15	40
	(x)Ebby	-	8	15	10	5	38
	Gcbx2	-	10	13	10	10	43
	xAbp2	-	10	15	10	10	45
	Gbbfp4	-	10	15	10	15	50
	k2Ebby	-	8	20	10	10	48
	GbBk2	-	10	20	10	10	50
	kEbb2	-	8	20	10	10	48
	Gbbk2	-	10	20	10	10	50
	kGbB2	-	10	20	10	10	50
	Gbbk4	-	10	20	10	15	55
	B	NC	-	-	-	-	-
	NC	NC	-	-	-	-	-
	OT	NC	-	-	-	-	-
	(G)lp	SH	-	-	-	-	-
	Alp	SH	-	-	-	-	-
	Efp	SH	-	-	-	-	-
	GFp	SH	-	-	-	-	-
	Gip	SH	-	-	-	-	-
	Ghxr2	SH	-	-	-	-	-
	rGhx2	SH	-	-	-	-	-
	uGhx2	SH	-	-	-	-	-
	uGhxr2	SH	-	-	-	-	-
	uGix2	SH	-	-	-	-	-
	uGixfp2	SH	-	-	-	-	-
	wGixr2	SH	-	-	-	-	-

Valeur minimale = 30 ; maximale = 55 ; moyenne = 39 ; écart-type = 6,8



Les Figure 7 et Figure 8 illustrent les résultats obtenus pour l'exploitation A.

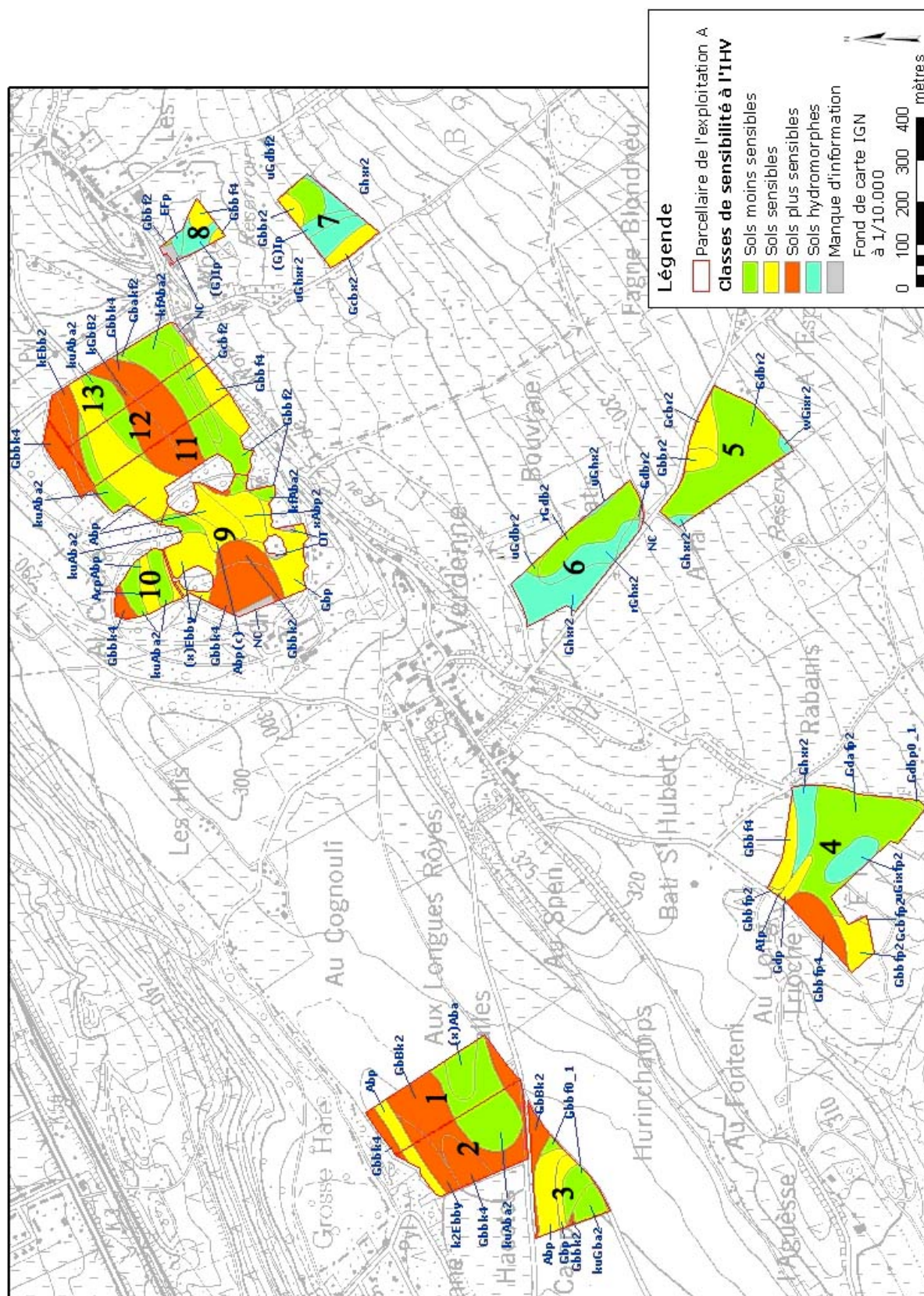


Figure 7 - Exploitation A – Bloc de parcelles 1 (Famenne)

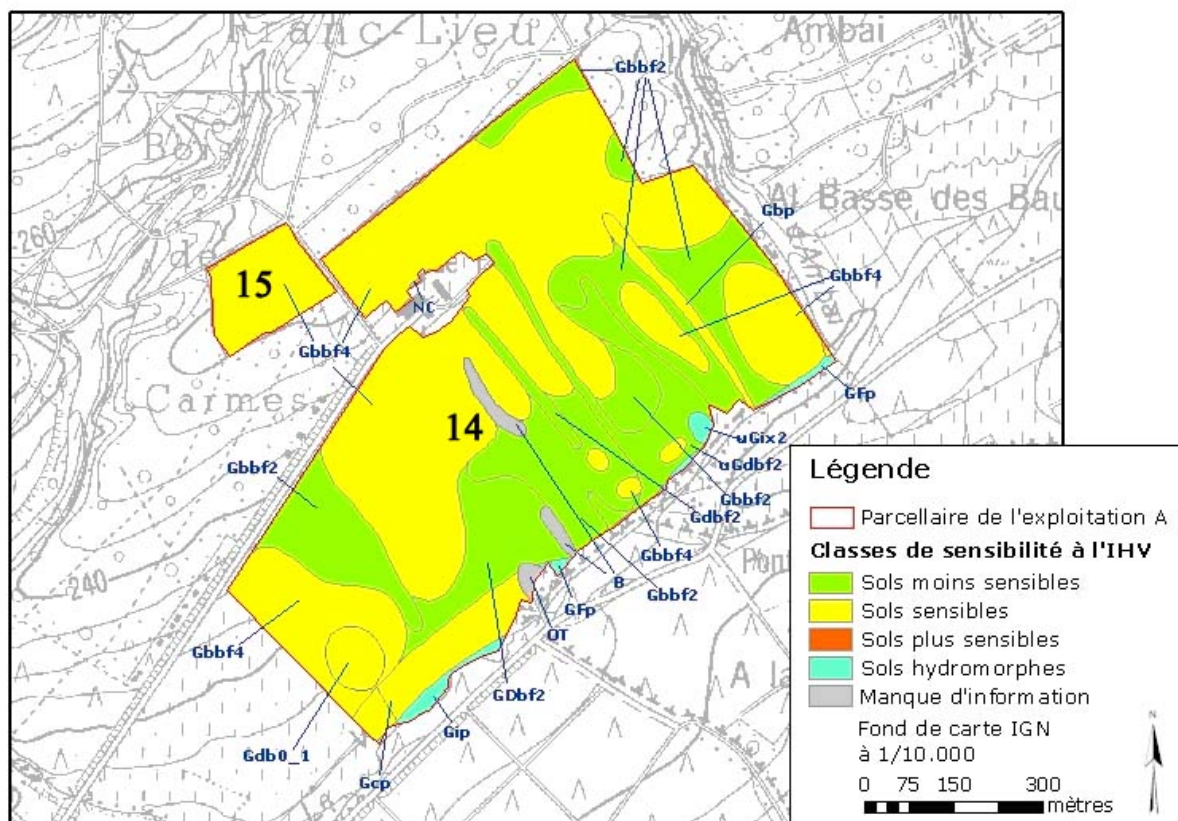


Figure 8 - Exploitation A – Bloc de parcelles 2 (Famenne)

Sur base des figures 9 et 10, les suggestions reprises dans le tableau 15 seront évaluées avec l'agriculteur concerné en tenant compte des normes en vigueur.

Tableau 15 – Exploitation A – Conseil de gestion

Parcelle n°	Affectation	Conseils
5,6,7,8,14,15	Prairies	Utiliser les zones moins sensibles de la parcelle 5 pour un éventuel stockage d'effluents. Eviter le stockage sur les zones de sols hydromorphes (zones bleues sur les cartes)
4,9,10,11	Prairies	Limitier le pâturage en fin de saison, éviter toute surcharge ainsi que le stockage d'effluents.
1,2,3,12,13	Cultures	Eviter ces parcelles pour un éventuel stockage de fumier, utiliser la zone moins sensible de la parcelle 3 pour un éventuel stockage d'effluents. Ne pas laisser de sols nus en octobre et novembre sur ces parcelles.
<b>Rappel des normes d'épandage</b>		
Prairies	En zone vulnérable et hors zone vulnérable	210 unités d'azote nitrique par hectare par an
	En démarche qualité	250 unités d'azote nitrique par hectare par an
Cultures	Hors zone vulnérable	360 unités d'azote nitrique par hectare sur 3 ans
	En démarche qualité	390 unités d'azote nitrique par hectare sur 3 ans
	En zone vulnérable	250 unités d'azote nitrique par hectare sur 3 ans
	La mise en place d'une culture intercalaire piège à nitrate est à conseiller dès que possible avant une culture de printemps.	



## 5.2. Exploitation B

La seconde exploitation (exploitation B) se situe à cheval sur 2 régions agricoles : la majeure partie du parcellaire se trouve dans le *Condroz* (figure 9), tandis que les autres parcelles sont situées en *Région limoneuse* (figure 10).

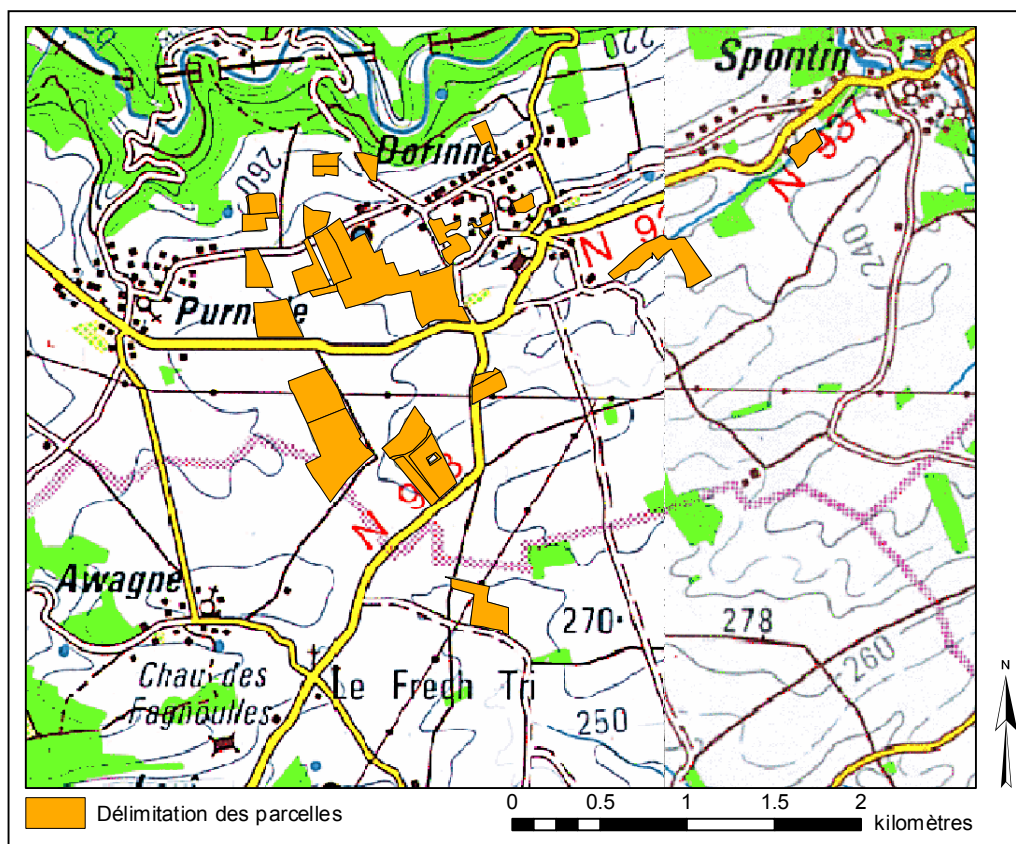


Figure 9 – Parcellaire de l'exploitation B (Condroz)

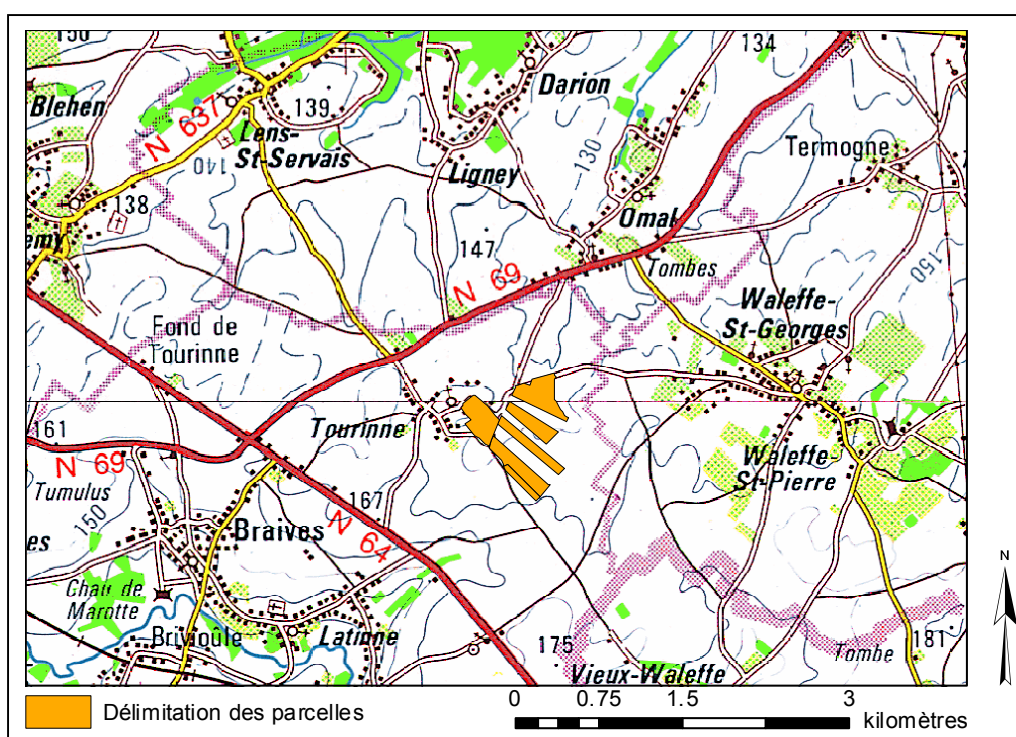


Figure 10 - Parcellaire de l'exploitation B (Région limoneuse)

**Tableau 16 - Cotations obtenues pour l'ensemble des unités de sol  
présentes sur les parcelles de l'exploitation B**

	<b>Sigle cartographique</b>	<b>Cas particulier</b>	<b>Texture</b>	<b>Substrat</b>	<b>Horizon</b>	<b>Epaisseur</b>	<b>Somme</b>
<b>Région limoneuse</b>	Aba(0)	-	10	20	5	0	35
	Aba1	-	10	20	5	0	35
	Abp ( c )	-	10	20	5	0	35
	AbB	-	10	20	10	0	40
	Abp0	-	10	20	10	0	40
	Abp	-	10	20	10	0	40
	Adp/0	-	10	20	10	0	40
	NC	NC	-	-	-	-	-
	ON	NC	-	-	-	-	-
<b>Condroz</b>	Aba1	-	10	20	5	0	35
	Aca0	-	10	20	5	0	35
	Aca1	-	10	20	5	0	35
	Ada1	-	10	20	5	0	35
	Abp0_1	-	10	20	5	0	35
	Gbap0_1	-	10	15	5	5	35
	(x)Aba	-	10	15	5	5	35
	(x)Aca	-	10	13	5	5	33
	(x)Ada	-	10	10	5	5	30
	uAba2_3	-	10	5	5	15	35
	wGbax2	-	10	10	5	10	35
	aGbap2	-	10	5	5	10	30
	aGDap2	-	10	3	5	10	28
	ADp0_1	-	10	20	10	0	40
	A-Gbp1	-	10	20	10	0	40
	A-Gbpc	-	10	20	10	0	40
	A-GDp1	-	10	20	10	0	40
	Gbap2	-	10	15	5	10	40
	Gbap4	-	10	15	5	15	45
	Gbax2	-	10	15	5	10	40
	wAba2_3	-	10	10	5	15	40
	GbBK4	-	10	10	10	15	45
	wGbax4	-	10	10	5	15	40
	GbBK2	-	10	10	10	10	40
	Gbax4	-	10	15	5	15	45
	Gbbk4	-	10	20	10	15	55
	Gbbk2	-	10	20	10	10	50
	NC	NC	-	-	-	-	-
	OE	NC	-	-	-	-	-
	OT	NC	-	-	-	-	-

*Valeur minimale = 28 ; maximale = 55 ; moyenne = 38 ; écart-type = 5,5*

Les Figure 11 à Figure 14 illustrent les résultats obtenus pour l'exploitation B.

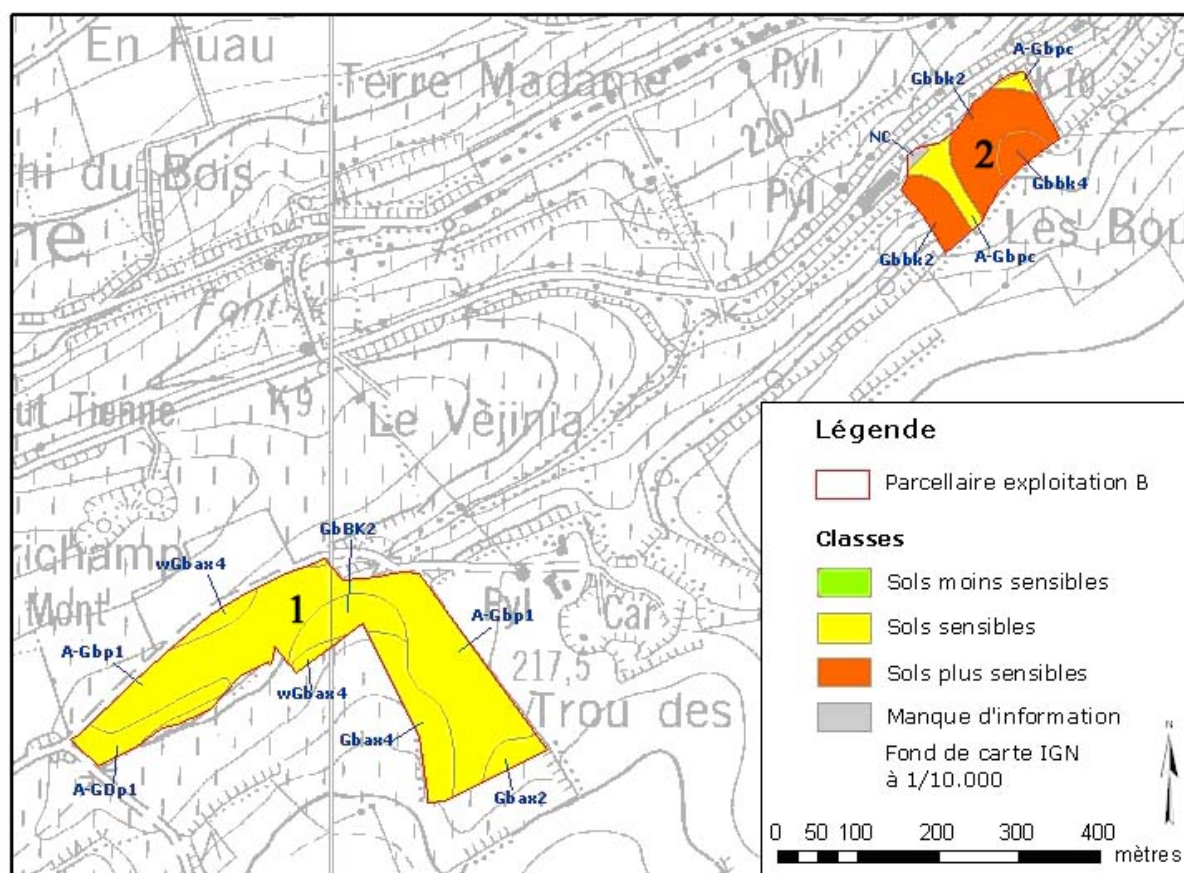


Figure 11 – Exploitation B – Bloc de parcelles 1 (Condroz)





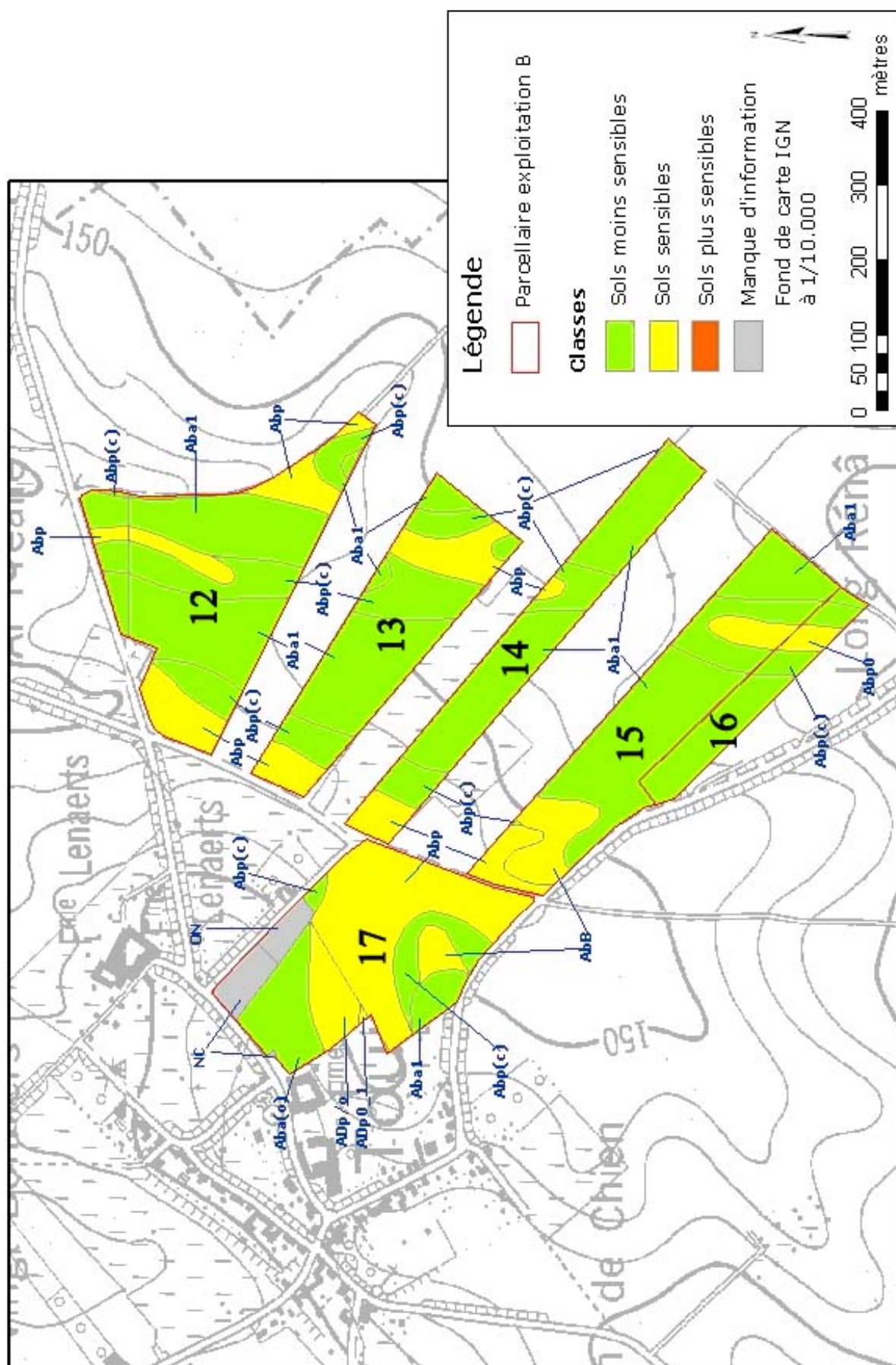


Figure 13 - Exploitation B – Bloc de parcelles 3 (Condroz)





Sur base des Figure 11 à Figure 14, les suggestions reprises dans le tableau 17 seront évaluées avec l'agriculteur concerné en tenant compte des normes en vigueur.

**Tableau 17 – Exploitation B – Conseil de gestion**

Parcelle n°	Affectation	Conseils
1,4,18,19,20,21,22,26,33,28,34	Prairies	Utiliser les zones moins sensibles de la parcelle 28 et 34 pour un éventuel stockage d'effluents.
2	Prairies	Limiter le pâturage en fin de saison, éviter toute surcharge ainsi que le stockage d'effluents.
7,8,9,10,23,24,25,27,29	Cultures	Eviter ces parcelles pour un éventuel stockage d'effluents, d'autres parcelles moins sensibles sont présentes sur le parcellaire.
11,12,13,14,15,17,30,31,32,3,5,6,16	Cultures	Utiliser les zones moins sensibles des parcelles pour un éventuel stockage d'effluents.
<b>Rappel des normes d'épandage</b>		
Prairies	En zone vulnérable et hors zone vulnérable	210 unités d'azote nitrique par hectare par an
	En démarche qualité	250 unités d'azote nitrique par hectare par an
Cultures	Hors zone vulnérable	360 unités d'azote nitrique par hectare sur 3 ans
	En démarche qualité	390 unités d'azote nitrique par hectare sur 3 ans
	En zone vulnérable	250 unités d'azote nitrique par hectare sur 3 ans
	La mise en place d'une culture intercalaire piège à nitrate est à conseiller dès que possible avant une culture de printemps.	

### 5.3. Conclusion

Grâce à ces cartes thématiques, créées pour chaque exploitation agricole, il est possible de limiter les pratiques à risques (telles que stockage du fumier au champ, épandage d'engrais de ferme en fin de saison, absence de couvert végétal en hiver, ou encore pâturage tardif sur les prairies) sur les parcelles les plus sensibles.

Compte tenu du couvert végétal permanent qui caractérise les prairies de fauche et les prairies permanentes, il convient de ne pas les comparer en terme de sensibilité à l'infiltration à des terres de culture. En conséquence, dans les exploitations mixtes (culture et prairie), une distinction sera faite pour chacune de ces deux occupations de sol.

Comme le montrent ces deux exemples, ce modèle est pertinent pour classer des parcelles situées dans des secteurs contrastés d'un point de vue pédologique. Par exemple, pour l'exploitation A située en Famenne, les sols développés sur calcaire sont beaucoup plus sensibles à l'infiltration que les sols développés sur schiste. Par contre, pour des milieux plus homogènes, comme pour la Région limoneuse, les différences de cotation sont moins importantes, et donc plus difficiles à interpréter.

Par ailleurs, comme on peut le constater, les parcelles sont parfois composées de plusieurs types de sol qui présentent de grandes différences en terme de sensibilité à l'IHV. Dès lors, pour ce qui est de l'assolement par exemple, il devient difficile de généraliser le conseil à la parcelle. Cette dernière représente pourtant pour l'agriculteur une unité fonctionnelle et une unité de gestion.



## 6. Remarques

Le modèle d'évaluation de la sensibilité des sols à l'IHV proposé par Cam *et al.* (1996) et adapté au contexte wallon dans le cadre de ce rapport permet de définir, sur base de l'exploitation de la CSB et de la CNSW qui en dérive, les parcelles d'une exploitation relativement plus sensibles à l'IHV. Ceci permet, dans une optique de préservation des eaux souterraines de la contamination par le nitrate d'origine agricole, d'orienter les choix de l'agriculteur en ce qui concerne par exemple le stockage du fumier au champ ou l'assolement. Les pratiques « à risque » en terme de lixiviation des éléments azotés devraient, *dans la mesure du possible*, être préférentiellement situées sur ces parcelles les moins sensibles.

Signalons cependant que cette évaluation de la sensibilité des sols à l'IHV constitue un outil de réflexion sur les risques de lixiviation de l'azote d'origine agricole, mais ne constitue qu'une première étape du diagnostic. En effet, seule une étude de la parcelle au niveau du bassin versant et du paysage permet d'identifier les risques réels liés à la lixiviation, et de préconiser les solutions les plus adaptées au problème. *Un retour au terrain sera donc nécessaire pour confirmer la classification des parcelles établie par cette méthode.*

Ainsi, pour étudier la sensibilité du milieu au risque de lixiviation vers la nappe, il faut tenir compte des sols mais également des autres facteurs qui interviennent dans les modalités de circulations des eaux. Il s'agit notamment :

- *du modelé du relief* : la pente en particulier est l'un des facteurs principaux des circulations latérales et du ruissellement ;
- *des structures géologiques* qui conditionnent la circulation des eaux souterraines ; elles sont souvent complexes, notamment dans les systèmes karstiques des régions calcaires ;
- *de l'utilisation du sol* : à travers son rôle sur l'évapotranspiration et sur le ruissellement, le type de culture augmente ou diminue les risques de lixiviation. Le type d'enracinement joue également un rôle important sur les vitesses de transfert de l'eau ;
- *de l'état de surface du sol* : par exemple, les croûtes de battance limitent l'infiltration et favorisent la stagnation ou le ruissellement de l'eau ;
- *des pratiques culturales* : la présence d'un système d'irrigation ou d'un réseau de drainage augmente ou diminue les risques de lixiviation ;
- *de certains éléments du paysage non indiqués sur la carte des sols* qui influencent également les risques de migration vers la nappe : la présence d'un puits constitue par exemple une voie privilégiée d'infiltration vers la nappe ;
- *de la profondeur de la nappe.*

Il s'agit alors pour les gestionnaires et conseillers auprès des agriculteurs de considérer cette carte thématique de l'IHV comme un *outil d'aide à la gestion parcellaire*, sans oublier d'intégrer cette information au contexte paysager et morphologique de la parcelle.

Des recherches complémentaires sur les circulations latérales et les transferts vers les zones de concentration des eaux sont nécessaires à l'amélioration de la modélisation de la sensibilité des sols à l'infiltration. L'on peut penser à la création de carte des zones sensibles recevant les eaux d'écoulement amont, les zones de pente à l'origine des circulations latérales et les zones situées en bas de versant, sièges de concentration.

Signalons également que ce système paramétrique d'évaluation de la sensibilité des sols se heurte à la difficulté de la pondération de chacun des facteurs.

## 7. Conclusion et perspectives

La préoccupation croissante de la gestion durable de l'espace rural par une conduite raisonnée des activités agricoles amène à utiliser la base de données géographiques et sémantiques de la CNSW (dérivant de la CSB) pour représenter la sensibilité des sols aux risques de dégradation et de pollution, en appréciant les possibilités d'infiltration verticale (et donc de transfert des éléments) vers les nappes souterraines.

La méthode, adaptée du modèle proposé par Cam *et al.* (1996) pour la région Centre (France), consiste à prendre en compte les processus élémentaires de l'infiltration verticale à partir des caractères intrinsèques du sol et du substrat, renseignés par la CNSW.

Grâce à l'information contenue dans le fichier sémantique de la CNSW, un modèle simple d'évaluation de la sensibilité des sols à l'IHV peut donc être envisagé. Les paramètres pris en compte sont au nombre de quatre. Il s'agit de la texture, de la présence ou non d'un substrat et/ou d'un horizon induré ou imperméable, et de l'épaisseur du sol. La classe de drainage est également prise en considération : les sols hydromorphes sont considérés comme inaptes à recevoir les pratiques dites « à risques » (stockage du fumier au champ, épandage d'engrais de ferme en fin de saison, absence de couvert végétal en hiver, pâturage tardif sur les prairies, etc.).

Ces paramètres sont pondérés en fonction de leur incidence sur l'infiltration : plus la cote attribuée est élevée, plus la sensibilité à l'IHV est importante. La somme de ces cotes aboutit à la définition de différentes classes de sensibilité à l'infiltration ; celles-ci sont représentées par un code couleur pour l'élaboration de cartes thématiques à l'échelle de l'exploitation.

Attirant l'attention sur les parcelles présentant les sensibilités à l'IHV les plus élevées (et présentant donc plus de risques de lixiviation de l'azote) au sein de l'exploitation agricole, ce modèle permettra d'aboutir à la mise en œuvre d'actions correctrices efficaces telles que le stockage des effluents secs sur les sols les moins filtrants ou la modification de l'assolement en fonction des pressions liées à certaines cultures en fonction du parcellaire.

Cependant, le principal défaut de ce modèle est de ne pas considérer le profil (et la parcelle) au sein du paysage ; il souffre d'un manque de recadrage géomorpho-pédologique. Les interactions du sol avec d'autres facteurs qui interviennent dans les modalités de circulations des eaux ne sont pas prises en compte. Pour mieux identifier la nature des risques liés à l'infiltration et préconiser une solution adaptée au système, l'étude à la parcelle devrait replacer celle-ci dans son contexte au niveau du paysage et du bassin versant. *Outre la compréhension exhaustive du sigle cartographique à un endroit donné, il est nécessaire de replacer l'unité cartographique dans son contexte géologique (lithologique en particulier) et topographique (approche géomorpho-pédologique) afin de mieux cerner les relations entre les unités pédopaysagères* (Engels, 2000).

Il est donc très important de signaler que le classement des parcelles sur base de la sensibilité à l'IHV des sols qui les composent et les cartes thématiques qui en dérivent, doivent être vus uniquement comme un *outil d'aide à la gestion parcellaire*. Un retour au terrain sera toujours nécessaire pour valider la classification des parcelles établie par cette méthode.

A l'avenir, il pourrait être envisagé de compléter ce modèle par d'autres sources d'informations : observations et mesures de terrain, cartes géologiques et topographiques, carte des zones karstiques, etc.

L'application OGEAD (Outil Géo-Environnemental d'Aide à la Décision), développée par Engels (2000), intègre déjà ces différents paramètres pour fournir en un point une grille de lecture en terme de sensibilité à l'infiltration pour différentes aires-tests. *Ces grilles privilégient les distinctions entre infiltration rapide et lente, et infiltration superficielle et profonde* (Engels, 2000). Cette application intègre donc la parcelle dans son contexte pédopaysager, en considérant les données pédologiques, issues de la CNSW, mais aussi la pente, la nature lithologique de la roche-mère et la profondeur de la nappe. Cette application, en s'appuyant sur plus de documents disponibles, est plus complète et réaliste.

Il pourrait être imaginé à l'avenir d'associer également d'autres informations, d'ordre législatif, comme la présence de zones de baignades ou les zones de protection des captages.

## 8. Références bibliographiques

ANONYME. [1991]. *Directive 91/676/CEE du Conseil, du 12 décembre 1991, concernant la protection des eaux contre la pollution par les nitrates à partir de sources agricoles* (JOCE n° L375 du 31/12/1991).

ANONYME. [2002]. *Arrêté du Gouvernement wallon relatif à la gestion durable de l'azote en agriculture* (MB 29/11/2002).

BAH B., ENGELS P., COLINET G. [2005]. *Légende de la Carte Numérique des Sols de Wallonie (Belgique) sur base de la légende originale de la Carte des sols de la Belgique de l'IRSIA à 1/20.000*. Gembloux : Faculté universitaire des Sciences Agronomiques, 53 p.

BIGORRE F. [2000]. *Influence de la pédogenèse et de l'usage des sols sur leurs propriétés physiques. Mécanisme d'évolutions et éléments de prévisions*. Nancy : Thèse de Doctorat de l'Université Henri Poincaré - G.F.D. Sciences de la terre - Nancy I, 178p.

CAM C., FROGER D., MOULIN J., RASSINEUX J., SERVANT J. [1996]. Représentation cartographique de la sensibilité des sols à l'infiltration hydrique verticale. Carte thématique à l'infiltration verticale. *In Etudes et Gestion des Sols*, 3 (2) : 97-119.

CATTIN G., GUICHARD L., JANNOT P., JUSTES E., LAURENT F., MACHET J.M. [2002]. *Lessivage des nitrates en système de cultures annuelles. Diagnostic du risque et proposition de gestion de l'interculture*. Comifer, rapport du sous-groupe « interculture », 44 p.

DURAND P., HENAULT C., BIDOIS J., TROLARD F. [1998]. La dénitrification en zone humide de fonds de vallée. *In* CHEVERRY C. [1998]. *Agriculture intensive et qualité des eaux*. Paris : INRA, 223-231.

ENGELS, P. [2000]. *Intégration des données relatives à la géologie, au relief et aux sols dans l'outil géo-environnemental d'aide à la décision (O.G.E.A.D.). Intégration des contraintes environnementales légales*. Namur : DGRNE, rapport final de la convention OGEAD 2 du 28 décembre 1998, 30 p + annexes.

JAMAGNE, M. [1967]. Bases et techniques d'une cartographie des sols. *In Ann. Agro.*, 18 (hors série).

LOZET J., MATHIEU C. [2002]. *Dictionnaire de Science du Sol*. Paris : TEC & DOC, 575 p.

MARIOTTI A. [1996]. Quelques réflexions sur le cycle biogéochimique de l'azote dans les agrosystèmes. *In* LEMAIRE G., NICOLARDOT B. [1997]. *Maîtrise de l'azote dans les agrosystèmes. Colloque des 19 et 20 novembre 1996*. Paris : INRA, 9-22.

MARTIN C. [2003]. *Mécanismes hydrologiques et hydrochimiques impliqués dans les variations saisonnières des teneurs en nitrate dans les bassins versants agricoles. Approche expérimentale et modélisation*. Rennes : thèse de Doctorat de l'Université de Rennes 1 - Sciences de la Terre, 267 p.

MORVAN X., BRUAND A., COUSIN I., ROQUE J., BARAN N., MOUVET C. [2003]. Prédiction des propriétés de rétention en eau des sols d'un bassin versant à l'aide de fonctions de pédotransfert : influence de la densité apparente et de la teneur en éléments grossiers. *In Etude et Gestion des Sols*, 11 (2) : 117-135.

ROOSE E., BLANCANEAUX P., de FREITAS P.L. [1993]. Un simple test de terrain pour évaluer la capacité d'infiltration et le comportement hydrodynamique des horizons pédologiques superficiels : méthode et exemples. *In Les Cahiers de l'ORSTOM, série Pédologie*, **28** (2) : 413 –419.

SEBILOTTE A., MEYNARD J.M. [1990]. Systèmes de culture, systèmes d'élevage et pollutions azotées. *In* CALVET R. [1990]. *Nitrates, Agriculture, Eau. Colloque des 7 et 8 novembre 1990*. Paris : INRA, 289-312.

VANDENBERGHE C., WARIN A., MARCOEN J.M. [2004]. Evaluation relative de la sensibilité à l'infiltration hydrique verticale. *In* MARCOEN J.M., VANDENBERGHE C. [2005]. *Convention-cadre relative au programme de gestion durable de l'azote en agriculture wallonne. Rapport d'activités annuel intermédiaire 2004 de GRENeRA*. Gembloux : Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques, 38 p.

VAN ORSHOVEN J., VANDENBROUCKE D. [1993]. *Guide de l'utilisateur de AARDEWERK. Base de données de profils pédologiques*. Leuven : IWONL, 44 p.